

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2002年 9月12日

出 願 番 号
Application Number:

特願2002-267222

[ST.10/C]:

[JP2002-267222]

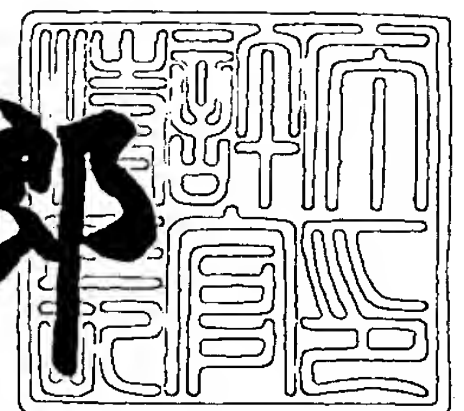
出 願 人
Applicant(s):

本田技研工業株式会社

2003年 6月18日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3047707

【書類名】 特許願

【整理番号】 H102235001

【提出日】 平成14年 9月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 F02D 41/14
G05B 11/00
G05B 13/00

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
究所内

【氏名】 安井 裕司

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100095566

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 友雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 059455

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 制御対象の出力と所定の目標値との偏差を算出する偏差算出手段と、

Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのうちのいずれか 1 つの変調アルゴリズムに基づき、前記算出された偏差に応じて、前記制御対象の出力を前記目標値に収束させるための、前記制御対象への制御入力を算出する第 1 の制御入力算出手段と、

応答指定型制御アルゴリズムに基づき、前記算出された偏差に応じて、前記制御対象の出力を前記目標値に収束させるための、前記制御対象への制御入力を算出する第 2 の制御入力算出手段と、

前記制御対象の状態を検出する検出手段と、

当該検出された制御対象の状態に応じて、前記第 1 および第 2 の制御入力算出手段の一方を、制御入力算出手段として選択する選択手段と、

当該選択手段により選択された制御入力算出手段が前記第 1 および第 2 の制御入力算出手段の一方から他方に変化した場合において、前記算出された偏差が所定の範囲内にあるときに、前記制御入力算出手段の前記一方から前記他方への切り換えを実行する切換手段と、

を備えることを特徴とする制御装置。

【請求項 2】 前記第 2 の制御入力算出手段は、

前記第 1 の制御入力算出手段から前記第 2 の制御入力算出手段への切り換えの初期において、前記制御入力を所定の制限範囲内の値に設定する制限手段を備えることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 3】 内燃機関の排気通路を流れる排気ガスの空燃比を表す検出信号を出力する空燃比センサと、

当該空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差を算出する偏差算出手段と、

Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのうちのいずれか 1 つの変調アルゴリズムに基づき、前記算出された偏差に応じて、

前記空燃比センサの出力を前記目標値に収束させるための、前記内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比を算出する第 1 の空燃比算出手段と、

応答指定型制御アルゴリズムに基づき、前記算出された偏差に応じて、前記空燃比センサの出力を前記目標値に収束させるための、前記内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比を算出する第 2 の空燃比算出手段と、

前記内燃機関の運転状態を表す運転状態パラメータを検出する運転状態パラメータ検出手段と、

前記検出された運転状態パラメータに応じて、前記第 1 および第 2 の空燃比算出手段の一方を、空燃比算出手段として選択する選択手段と、

当該選択手段により選択された空燃比算出手段が前記第 1 および第 2 の空燃比算出手段の一方から他方に変化した場合において、前記算出された偏差が所定の範囲内にあるときに、前記空燃比算出手段の前記一方から前記他方への切り換えを実行する切換手段と、

当該切り換えられた空燃比算出手段により算出された目標空燃比に応じて、前記内燃機関に供給される混合気の空燃比を制御する空燃比制御手段と、

を備えることを特徴とする制御装置。

【請求項 4】 前記第 2 の空燃比算出手段は、

前記第 1 の空燃比算出手段から前記第 2 の空燃比算出手段への切り換えの初期において、前記目標空燃比を所定の制限範囲内の値に設定する制限手段を備えることを特徴とする請求項 3 に記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、制御対象の出力と目標値との偏差に応じて算出した制御入力を制御対象に入力することにより、制御対象の出力を目標値に収束させるように制御する制御装置に関し、特に、制御入力を、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのいずれか 1 つの変調アルゴリズムに基づく算出処理と、応答指定型制御アルゴリズムに基づく算出処理とに切り換えて算出するものに関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

本出願人は、この種の制御装置として、例えば特願 2 0 0 1 - 4 0 0 9 8 8 号において、内燃機関の混合気の空燃比を制御するものをすでに提案している。この制御装置は、内燃機関の排気通路の触媒装置よりも下流側に設けられた酸素濃度センサと、 $\Delta \Sigma$ 変調アルゴリズムに基づく制御アルゴリズムにより、混合気の空燃比を制御する A D S M コントローラと、スライディングモード制御アルゴリズムに基づく制御アルゴリズムにより、混合気の空燃比を制御する P R I S M コントローラと、を備えている。

【 0 0 0 3 】

この制御装置では、空燃比制御が、内燃機関の運転状態に応じて、A D S M コントローラおよび P R I S M コントローラ的一方に切り換えられて実行される。より具体的には、A D S M コントローラでは、 $\Delta \Sigma$ 変調アルゴリズムに基づく制御アルゴリズムにより、酸素濃度センサの出力と所定の目標値との偏差に応じて、酸素濃度センサの出力を目標値に収束させるための目標空燃比が算出され、この目標空燃比に応じて混合気の空燃比が制御される。また、P R I S M コントローラでは、スライディングモード制御アルゴリズムに基づく制御アルゴリズムにより、酸素濃度センサの出力と所定の目標値との偏差に応じて、酸素濃度センサの出力を目標値に収束させるための目標空燃比が算出され、この目標空燃比に応じて混合気の空燃比が制御される。

【 0 0 0 4 】

以上の A D S M コントローラまたは P R I S M コントローラによる空燃比制御により、酸素濃度センサの出力が目標値に収束するように制御され、その結果、触媒装置の排気ガス浄化率が良好な状態に維持される。その際、A D S M コントローラによる空燃比制御では、酸素濃度センサの出力が目標値よりもリッチ側にある場合（すなわち触媒装置に供給される排気ガスがリッチ側にある場合）には、酸素濃度センサの出力の目標値への収束速度がリーン側にある場合よりも緩やかになるように、混合気の空燃比が制御される。これは、酸素濃度センサの出力が目標値よりもリッチ側にある場合、これを目標値に急速に収束させるように、

混合気の空燃比を制御すると、目標空燃比がリーン側の値に設定されることで、触媒装置に供給される排気ガスの空燃比が急速にリーン化され、その結果、触媒装置内の上流側部分の触媒が過度にリーン化されることに起因してNO_x浄化率が低下するので、これを防止するためである。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来の空燃比制御装置によれば、ADSMコントローラによる空燃比制御からPRISMコントローラによる空燃比制御に切り換えられた場合、この切り換え前の時点で、酸素濃度センサの出力が目標値よりもリッチ側にかなり離れていたときには、空燃比制御の切り換え後、PRISMコントローラにより、制御入力としての目標空燃比が、酸素濃度センサの出力がADSMコントローラよりも速い速度で目標値に収束するように、ADSMコントローラの算出値よりもリーン側の値に設定されることで、混合気の空燃比がリーン側に大幅に急変し、切り換えの前後間で段差を生じてしまうことがある。その結果、上述したように、触媒装置内の触媒の上流側部分が過度にリーン化されることに起因して、NO_x浄化率が低下してしまうおそれがある。これは、PRISMコントローラでは、応答指定型制御アルゴリズムの一種であるスライディングモード制御アルゴリズムを用いることにより、酸素濃度センサの出力の目標値への収束速度をADSMコントローラよりも高めることによって、空燃比制御の制御精度を高めるようにしているためである。

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのいずれか1つに基づく制御処理と、応答指定型制御アルゴリズムに基づく制御処理とに切り換えて、制御対象の出力を目標値に収束させるように制御する場合において、2つの制御処理の切り換えの前後間における制御入力の段差（急激な変化）を解消でき、それにより、切り換えの際の制御対象の出力の急激な変化を回避できる制御装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】

この目的を達成するために、請求項 1 に係る制御装置 1 は、制御対象の出力（例えば実施形態における（以下、この項において同じ）酸素濃度センサ 1 5 の出力 V_{out} ）と所定の目標値 V_{op} との偏差（出力偏差 V_{O2} の予測値 $PREV_{O2}$ ）を算出する偏差算出手段（ECU 2、状態予測器 2 2、ステップ 3 4）と、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのうちのいずれか 1 つの変調アルゴリズムに基づき、算出された偏差に応じて、制御対象の出力を目標値に収束させるための、制御対象への制御入力（目標空燃比 K_{CMD} ）を算出する第 1 の制御入力算出手段（ECU 2、DSMコントローラ 2 4、SDMコントローラ 2 9、DMコントローラ 3 0、ステップ 3 9、4 0）と、応答指定型制御アルゴリズムに基づき、算出された偏差に応じて、制御対象の出力を目標値に収束させるための、制御対象への制御入力（目標空燃比 K_{CMD} ）を算出する第 2 の制御入力算出手段（ECU 2、スライディングモードコントローラ 2 5、ステップ 3 8、4 0）と、制御対象の状態（吸気管内絶対圧 P_{BA} 、エンジン回転数 N_E ）を検出する検出手段（ECU 2、吸気管内絶対圧センサ 1 1、クランク角センサ 1 3）と、検出された制御対象の状態に応じて、第 1 および第 2 の制御入力算出手段の一方を、制御入力算出手段として選択する選択手段（ECU 2、ステップ 7 1、7 3）と、選択手段により選択された制御入力算出手段が第 1 および第 2 の制御入力算出手段の一方から他方に変化した場合（ステップ 7 4 の判別結果が NO から YES になった場合）において、算出された偏差が所定の範囲内にあるとき（ $|PREV_{O2}| \leq V_{DSMEND}$ のとき）に、制御入力算出手段の一方から他方への切り換えを実行する切換手段（ECU 2、ステップ 7 6、1 9 2）と、を備えることを特徴とする。

【0 0 0 8】

この制御装置によれば、制御対象の出力を目標値に収束させるための制御入力が、第 1 の制御入力算出手段により、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのうちのいずれか 1 つの変調アルゴリズムに基づき、制御対象の出力と所定の目標値との偏差に応じて算出され、第 2 の制御入力算出手段により、応答指定型制御アルゴリズムに基づき、制御対象の出力と所定

の目標値との偏差に応じて算出される。また、選択手段により、第 1 および第 2 の制御入力算出手段の一方が、検出された制御対象の状態に応じて制御入力算出手段として選択され、この選択手段によって選択された制御入力算出手段が第 1 および第 2 の制御入力算出手段の一方から他方に変化した場合において、算出された偏差が所定の範囲内にあるときに、制御入力算出手段の一方から他方への切り換えが、切換手段により実行される。一般に、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムでは、その算出値としての制御入力、所定の上限値と下限値との間で反転を繰り返す値として算出される。また、応答指定型制御アルゴリズムでは、その算出値としての制御入力は、目標値に対する制御対象の出力の応答性、例えば目標値への収束速度を指定するような値として算出される。そのため、第 1 および第 2 の制御入力算出手段により制御入力がそれぞれ算出された場合、偏差の値が同じであっても、制御入力は互いに異なる値として算出され、特に、第 2 の制御入力算出手段による算出値の絶対値が、第 1 の制御入力算出手段による算出値の絶対値を大きく上回る場合がある。これに対して、この制御装置によれば、上述したように、偏差が所定の範囲内にあるときに、制御入力算出手段が切り換えられるので、例えば、この所定の範囲を値 0 付近の範囲に設定することにより、制御入力算出手段の切り換えの前後間における制御入力の段差（すなわち急激な変化）を解消することができる。それにより、制御入力算出手段の切り換えの際、制御対象の出力の急激な変化を回避することができる。

【0009】

請求項 2 に係る発明は、請求項 1 に記載の制御装置において、第 2 の制御入力算出手段は、第 1 の制御入力算出手段から第 2 の制御入力算出手段への切り換えの初期において、制御入力を所定の制限範囲内の値に設定する（スライディングモード操作量 $DKCMDSLD$ を非アイドル運転用の下限値 $USLALF$ 以上の値に設定する）制限手段（ECU 2、ステップ 115, 124, 127, 193）を備えることを特徴とする。

【0010】

この制御装置によれば、制限手段により、第 1 の制御入力算出手段から第 2 の

制御入力算出手段への切り換えの初期において、制御入力が所定の制限範囲内の値に設定されるので、この制限範囲を適切に設定することにより、第2の制御入力算出手段への切り換えの際、切り換え後の制御入力の絶対値が切り換え前の制御入力の絶対値を大幅に上回るような状態が、2つの制御入力算出手段の前述した特性に起因して発生するのを回避でき、切り換えの前後間での制御入力の段差をより確実に解消することができる。

【 0 0 1 1 】

請求項3に係る制御装置1は、内燃機関3の排気通路（排気管7）を流れる排気ガスの空燃比を表す検出信号を出力する空燃比センサ（酸素濃度センサ15）と、空燃比センサの出力 V_{out} と所定の目標値 V_{op} との偏差（出力偏差 V_{O2} の予測値 $PREV_{O2}$ ）を算出する偏差算出手段（ECU2、状態予測器22、ステップ34）と、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのうちのいずれか1つの変調アルゴリズムに基づき、算出された偏差に応じて、空燃比センサの出力を目標値に収束させるための、内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比 K_{CMD} を算出する第1の空燃比算出手段（ECU2、DSMコントローラ24、SDMコントローラ29、DMコントローラ30、ステップ39、40）と、応答指定型制御アルゴリズムに基づき、算出された偏差に応じて、空燃比センサの出力を目標値に収束させるための、内燃機関に供給すべき混合気の目標空燃比 K_{CMD} を算出する第2の空燃比算出手段（ECU2、スライディングモードコントローラ25、ステップ38、40）と、内燃機関3の運転状態を表す運転状態パラメータ（吸気管内絶対圧 P_{BA} 、エンジン回転数 N_E ）を検出する運転状態パラメータ検出手段（ECU2、吸気管内絶対圧センサ11、クランク角センサ13）と、検出された運転状態パラメータに応じて、第1および第2の空燃比算出手段の一方を、空燃比算出手段として選択する選択手段（ECU2、ステップ71、73）と、選択手段により選択された空燃比算出手段が第1および第2の空燃比算出手段の一方から他方に変化した場合（ステップ74の判別結果がNOからYESになった場合）において、算出された偏差が所定の範囲内にあるとき（ $|PREV_{O2}| \leq V_{DSMEND}$ のとき）に、空燃比算出手段の一方から他方への切り換えを実行する切換手段（ECU2、

ステップ 7 6, 1 9 2) と、切り換えられた空燃比算出手段により算出された目標空燃比に応じて、内燃機関に供給される混合気の空燃比を制御する空燃比制御手段 (ECU 2、ステップ 6, 8 ~ 1 3) と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

この制御装置によれば、偏差算出手段により、空燃比センサの出力と所定の目標値との偏差が算出され、空燃比センサの出力を目標値に収束させるための、内燃機関に供給される混合気の空燃比が、第 1 の空燃比算出手段により、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムのうちのいずれか 1 つの変調アルゴリズムに基づき、算出された偏差に応じて算出され、また、第 2 の空燃比算出手段により、応答指定型制御アルゴリズムに基づき、偏差に応じて算出される。さらに、選択手段により、検出された運転状態パラメータに応じて、第 1 および第 2 の空燃比算出手段の一方が空燃比算出手段として選択され、切換手段により、選択手段により選択された空燃比算出手段が第 1 および第 2 の空燃比算出手段の一方から他方に変化した場合において、算出された偏差が所定の範囲内にあるときに、空燃比算出手段の一方から他方への切り換えが実行されるとともに、空燃比制御手段により、内燃機関に供給される混合気の空燃比が、切り換えられた空燃比算出手段により算出された目標空燃比に応じて制御される。前述したように、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムでは、その算出値としての目標空燃比は、所定の上限値と下限値との間で反転を繰り返す値として算出され、一方、応答指定型制御アルゴリズムでは、その算出値としての目標空燃比は、目標値に対する空燃比センサの出力の応答性、例えば目標値への収束速度を指定するような値として算出される。そのため、第 1 および第 2 の空燃比算出手段により目標空燃比をそれぞれ算出した場合、偏差の値が同じであっても、目標空燃比は互いに異なる値として算出され、特に、第 2 の空燃比算出手段による算出値の絶対値が、第 1 の算出手段による算出値の絶対値を大きく上回る場合がある。これに対して、この制御装置によれば、上述したように、偏差が所定の範囲内にあるときに、空燃比算出手段が切り換えられるので、例えば、この所定の範囲を値 0 付近の範囲に設定することにより、空燃比算出手段の切り換えの前後間における目標空燃比の段差を解消すること

ができ、それにより、空燃比算出手段を切り換える際、排気通路内の排気ガス状態が急激に変動するのを回避できる。その結果、例えば、触媒装置が排気通路に設けられている場合には、排気ガス状態の急激な変動に起因して、触媒装置の排気ガス浄化率が悪化するのを回避することができる。

【 0 0 1 3 】

請求項 4 に係る発明は、請求項 3 に記載の制御装置 1 において、第 2 の空燃比算出手段は、第 1 の空燃比算出手段から第 2 の空燃比算出手段への切り換えの初期において、目標空燃比（目標空燃比 K C M D のうちのスライディングモード操作量 D K C M D S L D）を所定の制限範囲内の値（非アイドル運転用の下限値 U S L A L F 以上の値）に設定する制限手段（E C U 2、ステップ 1 1 5, 1 2 4, 1 2 7, 1 9 3）を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

この制御装置によれば、制限手段により、目標空燃比が、第 1 の空燃比算出手段から第 2 の空燃比算出手段への切り換えの初期において、所定の制限範囲内の値に設定されるので、この制限範囲を適切に設定することにより、空燃比算出手段の切り換えの前後間において、切り換え後の目標空燃比の絶対値が切り換え前の目標空燃比の絶対値を大幅に上回るような状態が、2 つの空燃比算出手段の前述した特性に起因して発生するのを回避でき、空燃比算出手段の切り換えの前後間での目標空燃比の段差を確実に解消することができる。

【 0 0 1 5 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明の第 1 実施形態に係る制御装置について説明する。第 1 実施形態は、制御装置を内燃機関の空燃比を制御するものとして構成した例であり、図 1 は、この制御装置 1 およびこれを適用した内燃機関 3 の概略構成を示している。同図に示すように、この制御装置 1 は、E C U 2 を備えており、この E C U 2 は、後述するように、内燃機関（以下「エンジン」という）3 の運転状態に応じて、これに供給する混合気の空燃比を制御する。

【 0 0 1 6 】

このエンジン 3 は、図示しない車両に搭載された直列 4 気筒型ガソリンエンジ

ンであり、第1～第4の4つの気筒#1～#4を備えている。このエンジン3の吸気管4のスロットル弁5の近傍には、例えばポテンシオメータなどで構成されたスロットル弁開度センサ10が設けられている。このスロットル弁開度センサ10は、スロットル弁5の開度（以下「スロットル弁開度」という） θ_{TH} を検出して、その検出信号をECU2に送る。

【0017】

さらに、吸気管4のスロットル弁5よりも下流側には、吸気管内絶対圧センサ11が設けられている。この吸気管内絶対圧センサ11（検出手段、運転状態パラメータ検出手段）は、例えば半導体圧力センサなどで構成され、吸気管4内の吸気管内絶対圧PBAを検出し、その検出信号をECU2に出力する。

【0018】

また、吸気管4は、インテークマニホールド4aの4つの分岐部4bを介して4つの気筒#1～#4にそれぞれ接続されている。各分岐部4bには、各気筒の図示しない吸気ポートの上流側に、インジェクタ6が取り付けられている。各インジェクタ6は、エンジン3の運転時に、ECU2からの駆動信号によって、その開弁時間である最終燃料噴射量TOUTおよび噴射タイミングが制御される。

【0019】

一方、エンジン3の本体には、例えばサーミスタなどで構成された水温センサ12が取り付けられている。水温センサ12は、エンジン3のシリンダブロック内を循環する冷却水の温度であるエンジン水温TWを検出し、その検出信号をECU2に出力する。

【0020】

また、エンジン3のクランクシャフト（図示せず）には、クランク角センサ13が設けられている。このクランク角センサ13（検出手段、運転状態パラメータ検出手段）は、クランクシャフトの回転に伴い、いずれもパルス信号であるCRK信号およびTDC信号をECU2に出力する。

【0021】

CRK信号は、所定のクランク角（例えば 30° ）ごとに1パルスが出力される。ECU2は、このCRK信号に応じ、エンジン3の回転数（以下「エンジン

回転数」という) N E を算出する。また、T D C 信号は、各気筒のピストン (図示せず) が吸気行程の T D C 位置よりも若干、手前の所定のクランク角位置にあることを表す信号であり、所定クランク角ごとに 1 パルスが出力される。

【 0 0 2 2 】

一方、排気管 7 (排気通路) のエキゾーストマニホールド 7 a よりも下流側には、上流側から順に第 1 触媒装置 8 a および第 2 触媒装置 8 b が間隔を存して設けられている。両触媒装置 8 a, 8 b はいずれも、N O x 触媒と 3 元触媒を組み合わせたものであり、N O x 触媒による酸化還元作用により、リーンバーン運転時の排気ガス中の N O x を浄化するとともに、3 元触媒の酸化還元作用により、リーンバーン運転以外の運転時の排気ガス中の C O、H C および N O x を浄化する。

【 0 0 2 3 】

これらの第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b の間には、空燃比センサとしての酸素濃度センサ (以下「O 2 センサ」という) 1 5 が取り付けられている。この O 2 センサ 1 5 (検出手段、空燃比センサ) は、ジルコニアおよび白金電極などで構成され、第 1 触媒装置 8 a の下流側の排気ガス中の酸素濃度に基づく出力 V o u t を E C U 2 に送る。この O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t (制御対象の出力) は、理論空燃比よりもリッチな混合気が燃焼したときには、ハイレベルの電圧値 (例えば 0. 8 V) となり、混合気がリーンのときには、ローレベルの電圧値 (例えば 0. 2 V) となるとともに、混合気が理論空燃比付近のときには、ハイレベルとローレベルの間の所定の目標値 V o p (例えば 0. 6 V) となる (図 2 参照)。

【 0 0 2 4 】

また、第 1 触媒装置 8 a よりも上流側のエキゾーストマニホールド 7 a の集合部付近には、L A F センサ 1 4 が取り付けられている。この L A F センサ 1 4 は、O 2 センサ 1 5 と同様のセンサとリニアライザなどの検出回路とを組み合わせることによって構成されており、リッチ領域からリーン領域までの広範囲な空燃比の領域において排気ガス中の酸素濃度をリニアに検出し、その酸素濃度に比例する出力 K A C T を E C U 2 に送る。この出力 K A C T は、空燃比の逆数に比例

する当量比として表される。

【 0 0 2 5 】

次に、図 2 を参照しながら、第 1 触媒装置 8 a の排気ガスの浄化率と O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} (電圧値) との関係について説明する。同図は、第 1 触媒装置 8 a が、長時間の使用により浄化能力が低下した劣化状態と、浄化能力の高い未劣化状態の場合において、L A F センサ 1 4 の出力 $K A C T$ すなわちエンジン 3 に供給される混合気の空燃比が理論空燃比の付近で変化したときの、2 つの第 1 触媒装置 8 a の H C および $N O_x$ の浄化率と、O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} をそれぞれ測定した結果の一例を示している。同図において、破線で示すデータはいずれも、第 1 触媒装置 8 a が未劣化状態の場合の測定結果であり、実線で示すデータはいずれも、第 1 触媒装置 8 a が劣化状態の場合の測定結果である。また、L A F センサ 1 4 の出力 $K A C T$ が大きいほど、混合気の空燃比がよりリッチ側であることを示している。

【 0 0 2 6 】

同図に示すように、第 1 触媒装置 8 a が劣化している場合には、未劣化状態の場合と比べて、排気ガスの浄化能力が低下していることにより、L A F センサ 1 4 の出力 $K A C T$ がよりリーン側の値 $K A C T_1$ のときに、O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} が目標値 V_{op} を横切っている。一方、第 1 触媒装置 8 a は、その劣化・未劣化状態にかかわらず、O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} が目標値 V_{op} にあるときに、H C および $N O_x$ を最も効率よく浄化する特性を有している。したがって、O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} が目標値 V_{op} になるように、混合気の空燃比を制御することにより、第 1 触媒装置 8 a によって排気ガスを最も効率よく浄化できることが分かる。このため、後述する空燃比制御では、O 2 センサ 1 5 の出力 V_{out} が目標値 V_{op} に収束するように、目標空燃比 $K C M D$ が算出される。

【 0 0 2 7 】

さらに、E C U 2 には、アクセル開度センサ 1 6、大気圧センサ 1 7、吸気温度センサ 1 8 および車速センサ 1 9 などが接続されている。このアクセル開度センサ 1 6 は、車両の図示しないアクセルペダルの踏み込み量 (以下「アクセル開度

」という) A Pを検出し、その検出信号をE C U 2に出力する。また、大気圧センサ1 7、吸気温センサ1 8および車速センサ1 9はそれぞれ、大気圧P A、吸気温T Aおよび車速V Pを検出し、その検出信号をE C U 2に出力する。

【0 0 2 8】

このE C U 2は、I / Oインターフェース、C P U、R A MおよびR O Mなどからなるマイクロコンピュータから構成されており、前述した各種のセンサ1 0 ~ 1 9の出力に応じて、エンジン3の運転状態を判別するとともに、R O Mに予め記憶された制御プログラムやR A Mに記憶されたデータなどに従って、後述する適応空燃比制御処理またはマップ検索処理を実行することにより、目標空燃比K C M D (制御入力)を算出する。さらに、後述するように、この目標空燃比K C M Dに基づいて、インジェクタ6の最終燃料噴射量T O U Tを気筒ごとに算出し、この算出した最終燃料噴射量T O U Tに基づいた駆動信号で、インジェクタ6を駆動することにより、混合気の空燃比を制御する。なお、本実施形態では、E C U 2により、偏差算出手段、第1の制御入力算出手段、第2の制御入力算出手段、選択手段、切換手段、制限手段、第1の空燃比算出手段、第2の空燃比算出手段、運転状態パラメータ検出手段および空燃比制御手段が構成されている。

【0 0 2 9】

図3に示すように、制御装置1は、目標空燃比K C M Dを算出するA D S Mコントローラ2 0およびP R I S Mコントローラ2 1を備えており、両コントローラ2 0, 2 1はいずれも、具体的には、E C U 2により構成されている。

【0 0 3 0】

以下、A D S Mコントローラ2 0について説明する。このA D S Mコントローラ2 0は、適応予測型 $\Delta \Sigma$ 変調制御 (Adaptive prediction Delta Sigma Modulation Control: 以下「A D S M」という) 処理の制御アルゴリズムにより、O 2センサ1 5の出力V o u tを目標値V o pに収束させるための目標空燃比K C M Dを算出するものであり、状態予測器2 2、オンボード同定器2 3およびD S Mコントローラ2 4により構成されている。

【0 0 3 1】

まず、状態予測器2 2 (偏差算出手段) について説明する。この状態予測器2

2 は、以下に述べる予測アルゴリズムにより、出力偏差 $V O 2$ の予測値 $P R E V O 2$ (偏差) を算出するものである。本実施形態では、制御対象への制御入力を混合気の目標空燃比 $K C M D$ とし、制御対象の出力を $O 2$ センサ 1 5 の出力 $V o u t$ とし、インジェクタ 6 を含むエンジン 3 の吸気系から、第 1 触媒装置 8 a を含む排気系の第 1 触媒装置 8 a の下流側の $O 2$ センサ 1 5 までの系を、制御対象と見なすとともに、この制御対象を、下式 (1) に示すように、離散時間系モデルである $A R X$ モデル (auto-regressive model with exogeneous input: 外部入力を持つ自己回帰モデル) としてモデル化する。

【 0 0 3 2 】

$$V O 2(k) = a 1 \cdot V O 2(k-1) + a 2 \cdot V O 2(k-2) + b 1 \cdot D K C M D(k-d t) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $V O 2$ は、 $O 2$ センサ 1 5 の出力 $V o u t$ と前述した目標値 $V o p$ との偏差 ($V o u t - V o p$) である出力偏差を表し、 $D K C M D$ は、目標空燃比 $K C M D (= \phi o p)$ と基準値 $F L A F B A S E$ との偏差 ($K C M D - F L A F B A S E$) である空燃比偏差を表し、記号 k は、各離散データのサンプリングサイクルの順番を表している。この基準値 $F L A F B A S E$ は、所定の一定値に設定される。また、 $a 1$, $a 2$, $b 1$ はモデルパラメータを表しており、オンボード同定器 2 3 により、後述するように逐次同定される。

【 0 0 3 3 】

さらに、上記式 (1) の $d t$ は、目標空燃比 $K C M D$ の混合気がインジェクタ 6 により吸気系に供給されてから、 $O 2$ センサ 1 5 の出力 $V o u t$ に反映されるまでの予測時間を表しており、下式 (2) のように定義される。

$$d t = d + d' + d d \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、 d は、 $L A F$ センサ 1 4 から $O 2$ センサ 1 5 までの排気系のむだ時間を、 d' は、インジェクタ 6 から $L A F$ センサ 1 4 までの空燃比操作系のむだ時間を、 $d d$ は、排気系と空燃比操作系との間の位相遅れ時間をそれぞれ表している (なお、後述する適応空燃比制御処理の制御プログラムでは、 $A D S M$ 処理と $P R I S M$ 処理とに切り換えて目標空燃比 $K C M D$ を算出する処理を行うため、位相遅れ時間 $d d = 0$ に設定されている)。

【 0 0 3 4 】

また、予測値 $PREVO_2$ は、目標空燃比 $KCMD$ の混合気が吸気系に供給されてから予測時間 dt が経過した後の出力偏差 $VO_2(k+dt)$ を予測した値であり、上記式 (1) に基づき、予測値 $PREVO_2$ の算出式を導出すると、下式 (3) が得られる。

$$\begin{aligned} PREVO_2(k) &\doteq VO_2(k+dt) \\ &= a_1 \cdot VO_2(k+dt-1) + a_2 \cdot VO_2(k+dt-2) + b_1 \cdot DKCMD(k) \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$

【0035】

この式 (3) では、出力偏差 $VO_2(k)$ の未来値に相当する $VO_2(k+dt-1)$ 、 $VO_2(k+dt-2)$ の算出が必要となり、実際にプログラム化するのには困難である。そのため、マトリクス A 、 B を、モデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 を用いて図4に示す式 (4)、(5) のように定義するとともに、上式 (3) の漸化式を繰り返し用いることにより、上式 (3) を変形すると、図4に示す式 (6) が得られる。さらに、 LAF 出力偏差 $DKACT$ を、 LAF センサ 14 の出力 $KACT (= \phi_{in})$ と基準値 $FLAFBASE$ との偏差 ($KACT - FLAFBASE$) として定義すると、 $DKACT(k) = DKCMD(k-d')$ の関係が成立するので、この関係を図4の式 (6) に適用すると、図4に示す式 (7) が得られる。この式 (7) を用いた場合、予測値 $PREVO_2$ が、出力偏差 VO_2 、 LAF 出力偏差 $DKACT$ および空燃比偏差 $DKCMD$ により算出されるので、第1触媒装置 8a に実際に供給される排気ガスの空燃比の状態が反映された値として、予測値 $PREVO_2$ を算出でき、その算出精度すなわち予測精度を上記式 (6) を用いた場合よりも向上させることができる。この理由により、本実施形態では、予測アルゴリズムとして上記式 (7) を採用する。

【0036】

次に、オンボード同定器 23 について説明する。このオンボード同定器 23 は、以下に述べる逐次型同定アルゴリズムにより、前述した式 (1) のモデルパラメータ a_1 、 a_2 、 b_1 を算出 (同定) するものである。具体的には、図5に示す (8)、(9) により、モデルパラメータのベクトル $\theta(k)$ を算出する。同図の式 (8) において、 $KP(k)$ は、ゲイン係数のベクトルであり、 $ide_f(k)$ は同定誤差フィルタ値である。また、式 (9) における $\theta(k)^T$ は、

$\theta(k)$ の転置行列を表し、 $a_1'(k)$ 、 $a_2'(k)$ および $b_1'(k)$ は、後述するリミット処理を施す前のモデルパラメータを表している。なお、以下の説明では、「ベクトル」という表記を適宜、省略する。

【0037】

上記式(8)の同定誤差フィルタ値 $ide_f(k)$ は、図5に示す式(11)～(13)により算出される同定誤差 $ide(k)$ に、図5の式(10)に示す移動平均フィルタリング処理を施した値である。図5の式(10)の n は、移動平均フィルタリング処理のフィルタ次数(1以上の整数)を表しており、式(12)の $VO2HAT(k)$ は、出力偏差 $VO2$ の同定値を表している。このフィルタ次数 n は、後述するように、排気ガスボリューム AB_SV に応じて設定される。

【0038】

さらに、前述した図5の式(8)のゲイン係数のベクトル $KP(k)$ は、図5の式(14)により算出される。この式(14)の $P(k)$ は、図5の式(15)で定義される3次の正方行列である。本実施形態では、同定アルゴリズムとして、重み付き最小2乗法アルゴリズムを用いるため、式(15)の重みパラメータ λ_1 、 λ_2 は、 $\lambda_1 = \lambda$ 、 $\lambda_2 = 1$ (λ は、 $0 < \lambda < 1$ に設定される所定値) に設定されている。

【0039】

次に、DSMコントローラ24(第1の制御入力算出手段、第1の空燃比算出手段)について説明する。このDSMコントローラ24は、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムを応用した制御アルゴリズムにより、状態予測器22で算出された予測値 $PREVO2$ に基づき、制御入力 ϕ_{op} としての目標空燃比 $KCMD$ を算出するとともに、これを制御対象に入力することにより、制御対象の出力としての $O2$ センサ15の出力 $Vout$ を目標値 Vop に収束させるように制御するものである。

【0040】

まず、一般的な $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムについて説明する。図6は、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムを適用したコントローラ26により、制御対象27を制御する制御系の構成を示している。同図に示すように、このコントローラ26では、差分器2

6 a により、参照入力 $r(k)$ と遅延素子 2 6 b で遅延された D S M 信号 $u(k-1)$ との偏差として偏差信号 $\delta(k)$ が生成される。次に、積分器 2 6 c により、偏差積分値 $\sigma_d(k)$ が、偏差信号 $\delta(k)$ と遅延素子 2 6 d で遅延された偏差積分値 $\sigma_d(k-1)$ との和の信号として生成される。次いで、量子化器 2 6 e (符号関数) により、変調出力としての D S M 信号 $u(k)$ が、この偏差積分値 $\sigma_d(k)$ を符号化した信号として生成される。そして、以上のように生成された D S M 信号 $u(k)$ が制御対象 2 7 に入力されることにより、出力信号 $y(k)$ が制御対象 2 7 から出力される。

【 0 0 4 1 】

以上の $\Delta \Sigma$ 変調アルゴリズムは、以下の式 (1 6) ~ (1 8) で表される。

$$\delta(k) = r(k) - u(k-1) \quad \dots\dots (1\ 6)$$

$$\sigma_d(k) = \sigma_d(k-1) + \delta(k) \quad \dots\dots (1\ 7)$$

$$u(k) = \text{sgn}(\sigma_d(k)) \quad \dots\dots (1\ 8)$$

ただし、符号関数 $\text{sgn}(\sigma_d(k))$ の値は、 $\sigma_d(k) \geq 0$ のときには $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = 1$ となり、 $\sigma_d(k) < 0$ のときには $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = -1$ となる (なお、 $\sigma_d(k) = 0$ のときに、 $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = 0$ と設定してもよい)。

【 0 0 4 2 】

図 7 は、以上の制御系の制御シミュレーション結果を示している。同図に示すように、正弦波状の参照入力 $r(k)$ を制御系に入力した場合、D S M 信号 $u(k)$ が矩形波状の信号として生成され、これを制御対象 2 7 に入力することにより、参照入力 $r(k)$ と異なる振幅で同じ周波数の、ノイズを有するものの全体として同様の波形の出力信号 $y(k)$ が、制御対象 2 7 から出力される。このように、 $\Delta \Sigma$ 変調アルゴリズムの特性は、参照入力 $r(k)$ から生成された D S M 信号 $u(k)$ を制御対象 2 7 に入力したときに、制御対象 2 7 の出力 $y(k)$ が、参照入力 $r(k)$ に対して、異なる振幅で同じ周波数の、全体として同様の波形の信号となるような値として、D S M 信号 $u(k)$ を生成できるという点にある。言い換えれば、D S M 信号 $u(k)$ を、参照入力 $r(k)$ が制御対象 2 7 の実際の出力 $y(k)$ に再現されるような値として、生成 (算出) できるという点にある。

【 0 0 4 3 】

D S M コントローラ 2 4 は、このような $\Delta \Sigma$ 変調アルゴリズムの特性を利用し、 O_2 センサ 1 5 の出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させるための制御入力 $\phi_{op}(k)$ 、すなわち目標空燃比 $K_{CMD}(k)$ を算出するものである。その原理について説明すると、例えば図 8 に 1 点鎖線で示すように、出力偏差 V_{O2} が値 0 に対して揺らいでいる場合（すなわち、 O_2 センサ 1 5 の出力 V_{out} が目標値 V_{op} に対して揺らいでいる場合）、出力偏差 V_{O2} を値 0 に収束させる（すなわち出力 V_{out} を目標値 V_{op} に収束させる）には、図 8 に破線で示す、出力偏差 V_{O2} を打ち消すような逆位相波形の出力偏差 V_{O2}^* が生じるように、目標空燃比 $K_{CMD}(k)$ を生成すればよい。

【 0 0 4 4 】

しかし、前述したように、本実施形態の制御対象では、目標空燃比 $K_{CMD}(k)$ が制御対象に入力されてから O_2 センサ 1 5 の出力 V_{out} に反映されるまでに、予測時間 d_t 分の時間遅れが発生するため、現在の出力偏差 V_{O2} に基づいて、目標空燃比 $K_{CMD}(k)$ を算出した場合の出力偏差 $V_{O2}^\#$ は、図 8 に実線で示すように、出力偏差 V_{O2}^* に対して遅れを生じ、それにより、制御タイミングのずれが生じてしまう。したがって、これを補償するために、本実施形態の A D S M コントローラ 2 0 における D S M コントローラ 2 4 では、出力偏差 V_{O2} の予測値 $P R E V_{O2}$ を用いることにより、目標空燃比 $K_{CMD}(k)$ が、制御タイミングのずれを生じることなく、現在の出力偏差 V_{O2} を打ち消すような出力偏差（逆位相波形の出力偏差 V_{O2}^* と同様の出力偏差）を生じさせる信号として生成される。

【 0 0 4 5 】

具体的には、この D S M コントローラ 2 4 では、図 9 に示すように、反転増幅器 2 4 a により、参照信号 $r(k)$ が、値 - 1、参照信号用の非線形ゲイン G_d および予測値 $P R E V_{O2}(k)$ を互いに乗算した信号として生成される。次に、差分器 2 4 b により、この参照信号 $r(k)$ と遅延素子 2 4 c で遅延された D S M 信号 $u(k-1)$ との偏差として偏差信号 $\delta(k)$ が生成される。

【 0 0 4 6 】

次いで、積分器 2 4 d により、偏差積分値 $\sigma_d(k)$ が、偏差信号 $\delta(k)$ と遅延

素子 2 4 e で遅延された偏差積分値 $\sigma_d(k-1)$ との和の信号として生成され、次に、量子化器 2 4 f (符号関数) により、DSM 信号 $u(k)$ が、この偏差積分値 $\sigma_d(k)$ を符号化した値として生成される。そして、増幅器 2 4 g により、増幅 DSM 信号 $u''(k)$ が DSM 信号 $u(k)$ を所定のゲイン F_d で増幅した値として生成され、次に、加算器 2 4 h により、この増幅 DSM 信号 $u''(k)$ に所定の基準値 FLAFBASE および後述する適応補正項 FLAFADP を加算した値として、目標空燃比 KCMD(k) が生成される。

【 0 0 4 7 】

以上の DSM コントローラ 2 4 の制御アルゴリズムは、以下の式 (19) ~ (24) で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot \text{PREVO2}(k) \quad \dots\dots (19)$$

$$\delta(k) = r(k) - u(k-1) \quad \dots\dots (20)$$

$$\sigma_d(k) = \sigma_d(k-1) + \delta(k) \quad \dots\dots (21)$$

$$u(k) = \text{sgn}(\sigma_d(k)) \quad \dots\dots (22)$$

$$u''(k) = F_d \cdot u(k) \quad \dots\dots (23)$$

$$\text{KCMD}(k) = \text{FLAFBASE} + \text{FLAFADP} + u''(k) \quad \dots\dots (24)$$

ここで、非線形ゲイン G_d の値は、 $\text{PREVO2}(k) \geq 0$ のときには正の所定値 G_{d1} (例えば値 0.2) に、 $\text{PREVO2}(k) < 0$ のときには所定値 G_{d1} よりも大きい所定値 G_{d2} (例えば値 2) にそれぞれ設定される。このような非線形ゲイン G_d を用いる理由については後述する。また、符号関数 $\text{sgn}(\sigma_d(k))$ の値は、 $\sigma_d(k) \geq 0$ のときには $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = 1$ となり、 $\sigma_d(k) < 0$ のときには $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = -1$ となる (なお、 $\sigma_d(k) = 0$ のときに、 $\text{sgn}(\sigma_d(k)) = 0$ と設定してもよい)。

【 0 0 4 8 】

この DSM コントローラ 2 4 では、以上の式 (19) ~ (24) に示す制御アルゴリズムにより、前述したように、制御入力としての目標空燃比 KCMD(k) が、制御タイミングのずれを生じることなく、出力偏差 VO2 を打ち消すような出力偏差 VO2* を生じさせる値として算出される。

【 0 0 4 9 】

次に、前記 P R I S M コントローラ 2 1 について説明する。この P R I S M コントローラ 2 1 は、以下に述べるオンボード同定型スライディングモード制御処理（以下「P R I S M 処理」という）の制御アルゴリズムにより、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t を目標値 V o p に収束させるための目標空燃比 K C M D を算出するものであり、状態予測器 2 2、オンボード同定器 2 3 およびスライディングモードコントローラ（以下「S L D コントローラ」という）2 5 により構成されている。なお、この P R I S M 処理の具体的なプログラムについては後述する。

【 0 0 5 0 】

この P R I S M コントローラ 2 1 のうちの状態予測器 2 2 およびオンボード同定器 2 3 については、既に説明したので、ここでは S L D コントローラ 2 5（第 2 の制御入力算出手段、第 2 の空燃比算出手段）についてのみ説明する。この S L D コントローラ 2 5 は、スライディングモード制御アルゴリズムに基づいてスライディングモード制御を行うものであり、以下、一般的なスライディングモード制御アルゴリズムについて説明する。このスライディングモード制御アルゴリズムでは、前述した式（1）の離散時間系モデルを制御対象モデルとして用いるため、切換関数 σ は、下式（25）に示すように、出力偏差 V O 2 の時系列データの線形関数として設定される。

$$\sigma(k) = S1 \cdot VO2(k) + S2 \cdot VO2(k-1) \quad \dots\dots (25)$$

ここで、S 1, S 2 は、 $-1 < (S2/S1) < 1$ の関係が成立するように設定される所定の係数である。

【 0 0 5 1 】

一般にスライディングモード制御アルゴリズムでは、切換関数 σ が 2 つの状態変数（本実施形態では出力偏差 V O 2 の時系列データ）で構成されている場合、2 つの状態変数で構成される位相空間は、これらをそれぞれ縦軸および横軸とする 2 次元の位相平面となるため、この位相平面上において、 $\sigma = 0$ を満たす 2 つの状態変数の値の組み合わせは、切換直線と呼ばれる直線上に載ることになる。したがって、制御対象への制御入力を、2 つの状態変数の組み合わせが切換直線上に収束する（載る）ように適切に決定することにより、2 つの状態変数をいずれも、値 0 になる平衡点に収束（スライディング）させることができる。さらに

、スライディングモード制御アルゴリズムでは、切換関数 σ の設定により、状態変数の動特性、より具体的には収束挙動や収束速度を指定することができる。例えば、本実施形態のように、切換関数 σ が2つの状態変数で構成されている場合には、切換直線の傾きを値1に近づけると、状態変数の収束速度が遅くなる一方、値0に近づけると、収束速度が速くなる。

【 0 0 5 2 】

本実施形態では、前記式(25)に示すように、切換関数 σ が出力偏差 V_{O2} の2つの時系列データ、すなわち出力偏差 V_{O2} の今回値 $V_{O2}(k)$ および前回値 $V_{O2}(k-1)$ により構成されているので、これらの今回値 $V_{O2}(k)$ および前回値 $V_{O2}(k-1)$ の組み合わせを切換直線上に収束させるように、制御対象への制御入力すなわち目標空燃比 K_{CMD} を設定すればよい。具体的には、操作量 $U_{s1}(k)$ を、基準値 $FLAFBASE$ および適応補正項 $FLAFADP$ との和が目標空燃比 K_{CMD} となる値として定義すると、今回値 $V_{O2}(k)$ および前回値 $V_{O2}(k-1)$ の組み合わせを切換直線上に収束させるための操作量 $U_{s1}(k)$ は、適応スライディングモード制御アルゴリズムにより、図10に示す式(26)のように、等価制御入力 $U_{eq}(k)$ 、到達則入力 $U_{rch}(k)$ および適応則入力 $U_{adp}(k)$ の総和として設定される。

【 0 0 5 3 】

この等価制御入力 $U_{eq}(k)$ は、出力偏差 V_{O2} の今回値 $V_{O2}(k)$ および前回値 $V_{O2}(k-1)$ の組み合わせを切換直線上に拘束しておくためのものであり、具体的には、図10に示す式(27)のように定義される。また、到達則入力 $U_{rch}(k)$ は、外乱やモデル化誤差などにより、出力偏差 V_{O2} の今回値 $V_{O2}(k)$ および前回値 $V_{O2}(k-1)$ の組み合わせが切換直線上から外れた際に、これらを切換直線上に収束させるためのものであり、具体的には、図10に示す式(28)のように定義される。この式(28)において、 F はゲインを表す。

【 0 0 5 4 】

さらに、適応則入力 $U_{adp}(k)$ は、制御対象の定常偏差、モデル化誤差および外乱の影響を抑制しながら、出力偏差 V_{O2} の今回値 $V_{O2}(k)$ および前

回値 $VO2(k-1)$ の組み合わせを、切換超平面上に確実に収束させるためのものであり、具体的には、図 10 に示す式 (29) のように定義される。この式 (29) において、 G はゲインを、 ΔT は制御周期をそれぞれ表す。

【 0 0 5 5 】

本実施形態の PRISM コントローラ 21 の SLD コントローラ 25 では、前述したように、出力偏差 $VO2$ に代えて予測値 $PREVO2$ を用いるので、 $PREVO2(k) \equiv VO2(k + dt)$ の関係を適用することにより、以上の式 (25) ~ (29) のアルゴリズムを、図 11 に示す式 (30) ~ (34) に書き換えて用いる。この式 (30) における σPRE は、予測値 $PREVO2$ を用いたときの切換関数（以下「予測切換関数」という）の値である。すなわち、この SLD コントローラ 25 では、以上のアルゴリズムで算出される操作量 $Us1(k)$ を基準値 $FLAFBASE$ および適応補正項 $FLAFADP$ に加算することによって、目標空燃比 $KCMD$ が算出される。

【 0 0 5 6 】

以下、ECU 2 により実行される燃料噴射量の算出処理について、図 12 を参照しながら説明する。なお、以下の説明では、今回値であることを示す記号 (k) を適宜、省略する。図 12 は、この制御処理のメインルーチンを示しており、本処理は、TDC 信号の入力に同期して割り込み実行される。この処理では、後述する適応空燃比制御処理、またはマップ検索処理により算出された目標空燃比 $KCMD$ を用いることによって、燃料噴射量 $TOUT$ が気筒ごとに算出される。

【 0 0 5 7 】

まず、ステップ 1（図では「S1」と略す。以下同じ）において、前述した各種のセンサ 10 ~ 19 の出力を読み込むとともに、読み込んだデータを RAM 内に記憶する。

【 0 0 5 8 】

次に、ステップ 2 に進み、基本燃料噴射量 Tim を算出する。この処理では、エンジン回転数 NE および吸気管内絶対圧 PBA に応じて、図示しないマップを検索することにより、基本燃料噴射量 Tim を算出する。

【 0 0 5 9 】

次いで、ステップ 3 に進み、総補正係数 K_{TOTAL} を算出する。この総補正係数 K_{TOTAL} は、各種の運転パラメータ（例えば吸気温 T_A や、大気圧 P_A 、エンジン水温 T_W 、アクセル開度 A_P など）に応じて、各種のテーブルやマップを検索することで各種の補正係数を算出するとともに、これらの各種の補正係数を互いに乗算することにより、算出される。

【 0 0 6 0 】

次に、ステップ 4 に進み、適応制御フラグ $F_PRISMON$ の設定処理を実行する。この処理の内容は図示しないが、具体的には、以下の (f 1) ~ (f 6) の条件がいずれも成立しているときには、適応空燃比制御処理で算出された目標空燃比 K_{CMD} を使用する条件が成立しているとして、それを表すために、適応制御フラグ $F_PRISMON$ が「1」にセットされる。一方、(f 1) ~ (f 6) の条件のうちの少なくとも 1 つが成立していないときには、適応制御フラグ $F_PRISMON$ が「0」にセットされる。

(f 1) LAF センサ 1 4 および O_2 センサ 1 5 がいずれも活性化していること。

(f 2) エンジン 3 がリーンバーン運転中でないこと。

(f 3) スロットル弁 5 が全開状態でないこと。

(f 4) 点火時期の遅角制御中でないこと。

(f 5) フューエルカット運転中でないこと。

(f 6) エンジン回転数 N_E および吸気管内絶対圧 P_{BA} がいずれも、所定の範囲内の値であること。

【 0 0 6 1 】

次に、ステップ 5 に進み、ステップ 4 で設定された適応制御フラグ $F_PRISMON$ が「1」であるか否かを判別する。この判別結果が YES のときには、ステップ 6 に進み、目標空燃比 K_{CMD} を、後述する適応空燃比制御処理で算出された適応目標空燃比 K_{CMDSLD} に設定する。

【 0 0 6 2 】

一方、ステップ 5 の判別結果が NO のときには、ステップ 7 に進み、目標空燃比 K_{CMD} をマップ値 K_{CMDMAP} に設定する。このマップ値 K_{CMDMAP}

は、エンジン回転数 NE および吸気管内絶対圧 PBA に応じて、図示しないマップを検索することにより、算出される。

【 0 0 6 3 】

以上のステップ 6 または 7 に続くステップ 8 では、オブザーバフィードバック補正係数 $\#n K L A F$ を気筒ごとに算出する。このオブザーバフィードバック補正係数 $\#n K L A F$ は、気筒ごとの実際の空燃比のばらつきを補正するためのものであり、具体的には、オブザーバにより $L A F$ センサ 1 4 の出力 $K A C T$ から気筒ごとの実際の空燃比を推定し、これらの推定した空燃比に応じて、 $P I D$ 制御により算出される。なお、このオブザーバフィードバック補正係数 $\#n K L A F$ の記号 $\#n$ は、気筒の番号 $\#1 \sim \#4$ を表すものであり、これは、後述する要求燃料噴射量 $\#n T C Y L$ および最終燃料噴射量 $\#n T O U T$ においても同様である。

【 0 0 6 4 】

次いで、ステップ 9 に進み、フィードバック補正係数 $K F B$ を算出する。このフィードバック補正係数 $K F B$ は、具体的には、以下のように算出される。すなわち、 $L A F$ センサ 1 4 の出力 $K A C T$ と目標空燃比 $K C M D$ との偏差に応じて、 $P I D$ 制御によりフィードバック係数 $K L A F$ を算出する。また、図示しない *Self Tuning Regulator* 型の適応制御器によりフィードバック補正係数 $K S T R$ を算出し、これを目標空燃比 $K C M D$ で除算することにより、フィードバック補正係数 $k s t r$ を算出する。そして、エンジン 3 の運転状態に応じて、これらの 2 つのフィードバック係数 $K L A F$ およびフィードバック補正係数 $k s t r$ の一方を、フィードバック補正係数 $K F B$ として設定する。

【 0 0 6 5 】

次いで、ステップ 1 0 に進み、補正目標空燃比 $K C M D M$ を算出する。この補正目標空燃比 $K C M D M$ は、空燃比 A / F の変化による充填効率の変化を補償するためのものであり、前述したステップ 6 または 7 で算出された目標空燃比 $K C M D$ に応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出される。

【 0 0 6 6 】

次に、ステップ 1 1 に進み、以上のように算出した基本燃料噴射量 $T i m$ 、総

補正係数 K_{TOTAL} 、オブザーバフィードバック補正係数 $\#n_{K_{LAF}}$ 、フィードバック補正係数 K_{FB} 、および補正目標空燃比 K_{CMDM} を用い、下式 (35) により、気筒ごとの要求燃料噴射量 $\#n_{TCYL}$ を算出する。

$$\#n_{TCYL} = T_{im} \cdot K_{TOTAL} \cdot K_{CMDM} \cdot K_{FB} \cdot \#n_{K_{LAF}} \dots\dots (35)$$

【0067】

次に、ステップ 12 に進み、要求燃料噴射量 $\#n_{TCYL}$ を付着補正することにより、最終燃料噴射量 $\#n_{TOUT}$ を算出する。この最終燃料噴射量 $\#n_{TOUT}$ は、具体的には、今回の燃焼サイクルでインジェクタ 6 から噴射された燃料が燃焼室の内壁面に付着する割合などを、運転状態に応じて算出し、そのように算出した割合に基づいて、要求燃料噴射量 $\#n_{TCYL}$ を補正することにより、算出される。

【0068】

次いで、ステップ 13 に進み、以上のように算出した最終燃料噴射量 $\#n_{TOUT}$ に基づく駆動信号を、対応する気筒のインジェクタ 6 に出力した後、本処理を終了する。

【0069】

次に、図 13 および図 14 を参照しながら、 $ADSM$ 処理および $PRISM$ 処理を含む適応空燃比制御処理について説明する。この処理は、所定の周期（例えば 10 msec ）で実行される。また、この処理では、エンジン 3 の運転状態に応じて、 $ADSM$ 処理、 $PRISM$ 処理、触媒還元モード処理またはスライディングモード操作量 DK_{CMDSLD} を所定値 $SLDHOLD$ に設定する処理により、目標空燃比 K_{CMD} が算出される。

【0070】

この処理では、まず、ステップ 20 において、 F/C 後判定処理を実行する。この処理の内容は図示しないが、この処理では、フューエルカット運転中は、それを表すために F/C 後判定フラグ F_AFC が「1」にセットされ、フューエルカット運転の終了後、所定時間 TM_AFC が経過したときには、それを表すために F/C 後判定フラグ F_AFC が「0」にセットされる。

【 0 0 7 1 】

次に、ステップ 2 1 に進み、車速 V P に基づいて、エンジン 3 を搭載した車両が発進したか否かを判定する発進判定処理を実行する。この処理の具体的な内容は、後述する。

【 0 0 7 2 】

ステップ 2 1 に続くステップ 2 2 では、状態変数の設定処理を実行する。図示しないが、この処理では、R A M 内に記憶されている、目標空燃比 K C M D、L A F センサ 1 4 の出力 K A C T および出力偏差 V O 2 の時系列データをいずれも、1 サンプリングサイクル分ずつ過去側にシフトさせる。その後、K C M D、K A C T および V O 2 の時系列データの最新の値と、基準値 F L A F B A S E と、後述する適応補正項 F L A F A D P とに基づき、K C M D、K A C T および V O 2 の今回値を算出する。

【 0 0 7 3 】

次に、ステップ 2 3 に進み、P R I S M / A D S M 処理の実行判定処理を行う。この処理は、P R I S M 処理、A D S M 処理および後述する触媒還元モード処理の実行条件が成立しているか否かに応じて、P R I S M / A D S M 実行フラグ F _ P R I S M C A L の値をセットするものである。

【 0 0 7 4 】

具体的には、以下の (f 7) ~ (f 1 0) の条件がいずれも成立しているときには、P R I S M 処理、A D S M 処理または触媒還元モード処理を実行すべき運転状態にあるとして、それを表すために、P R I S M / A D S M 実行フラグ F _ P R I S M C A L を「1」にセットする。一方、(f 7) ~ (f 1 0) の条件の少なくとも1つが成立していないときには、P R I S M 処理、A D S M 処理または触媒還元モード処理を実行すべき運転状態にないとして、それを表すために、P R I S M / A D S M 実行フラグ F _ P R I S M C A L を「0」にセットする。

(f 7) O 2 センサ 1 5 が活性化していること。

(f 8) L A F センサ 1 4 が活性化していること。

(f 9) エンジン 3 がリーンバーン運転中でないこと。

(f 1 0) 点火時期の遅角制御中でないこと。

【 0 0 7 5 】

ステップ 2 3 に続くステップ 2 4 では、同定器演算の実行判定処理を行う。この処理は、オンボード同定器 2 3 によるパラメータ同定の実行条件が成立しているか否かに応じて、同定実行フラグ F_IDCAL の値をセットするものである。具体的には、スロットル弁開度 θ_{TH} が全開状態でなく、かつフューエルカット運転中でないときには、パラメータ同定を実行すべき運転状態であるとして、それを表すために、同定実行フラグ F_IDCAL を「1」にセットする。一方、スロットル弁開度 θ_{TH} が全開状態にあるとき、またはフューエルカット運転中であるときには、パラメータ同定を実行すべき運転状態にないとして、同定実行フラグ F_IDCAL を「0」にセットする。

【 0 0 7 6 】

次いで、ステップ 2 5 に進み、各種パラメータ（排気ガスボリューム AB_SV など）を算出する。この処理の具体的な内容は、後述する。

【 0 0 7 7 】

次に、ステップ 2 6 に進み、 $ADSM$ モードフラグ $F_DSMMODE$ の設定処理を実行する。この処理の具体的な内容は、後述する。

【 0 0 7 8 】

次いで、ステップ 2 7 に進み、前記ステップ 2 3 で設定された $PRISM/ADSM$ 実行フラグ $F_PRISMICAL$ が「1」であるか否かを判別する。この判別結果が YES で、 $PRISM$ 処理または $ADSM$ 処理の実行条件が成立しているときには、ステップ 2 8 に進み、前記ステップ 2 4 で設定された同定実行フラグ F_IDCAL が「1」であるか否かを判別する。

【 0 0 7 9 】

この判別結果が YES で、オンボード同定器 2 3 によるパラメータ同定を実行すべき運転状態のときには、ステップ 2 9 に進み、パラメータ初期化フラグ $F_IDRESET$ が「1」であるか否かを判別する。この判別結果が NO で、 RAM に記憶されているモデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 の初期化が不要であるときには、後述するステップ 3 2 に進む。

【 0 0 8 0 】

一方、この判別結果が Y E S で、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 の初期化が必要であるときには、ステップ 3 0 に進み、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 を、それぞれの初期値に設定した後、それを表すためにステップ 3 1 に進み、パラメータ初期化フラグ F_IDRSET を「0」にセットする。

【0081】

このステップ 3 1 または 2 9 に続くステップ 3 2 では、オンボード同定器 2 3 の演算を実行し、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 を同定した後、後述する図 1 4 のステップ 3 3 に進む。このオンボード同定器 2 3 の演算の具体的な内容については、後述する。

【0082】

一方、ステップ 2 8 の判別結果が N O で、パラメータ同定を実行すべき運転状態でないときには、以上のステップ 2 9 ~ 3 2 をスキップして、図 1 4 のステップ 3 3 に進む。ステップ 2 8 または 3 2 に続くステップ 3 3 では、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 として、同定値または所定値を選択する。この処理の内容は図示しないが、具体的には、前記ステップ 2 4 で設定された同定実行フラグ F_IDCAL が「1」のときには、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 をステップ 3 2 で同定された同定値に設定する。一方、同定実行フラグ F_IDCAL が「0」のときには、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 を所定値に設定する。

【0083】

次に、ステップ 3 4 に進み、状態予測器 2 2 の演算を実行し、予測値 $PREVO_2$ を算出する。具体的には、前述した式 (7) の行列要素 α_1 , α_2 , β_i , β_j を算出し、これらの行列要素 α_1 , α_2 , β_i , β_j を式 (7) に適用することにより、出力偏差 VO_2 の予測値 $PREVO_2$ を算出する。

【0084】

次いで、ステップ 3 5 に進み、後述するように、操作量 $USL (=Us_1)$ を算出する。

【0085】

次に、ステップ 3 6 に進み、SLDコントローラ 2 5 の安定判別を実行する。具体的には、予測切換関数 σ_{PRE} の値に基づき、SLDコントローラ 2 5 によ

るスライディングモード制御が安定状態にあるか否かを判別する。そして、スライディングモード制御が安定状態にあると判別されたときには、それを表すために、低不安定フラグ F_SLDST1 および高不安定フラグ F_SLDST2 をいずれも「0」にセットする。また、低レベルの不安定状態（以下「低不安定レベル」という）にあると判別されたときには、それを表すために、低不安定フラグ F_SLDST1 を「1」に、高不安定フラグ F_SLDST2 を「0」にそれぞれセットする。さらに、高レベルの不安定状態（以下「高不安定レベル」という）にあると判別されたときには、それを表すために、低不安定フラグ F_SLDST1 を「1」に、高不安定フラグ F_SLDST2 を「1」にそれぞれセットする。

【0086】

次いで、ステップ37に進み、触媒還元モード操作量 $DKCMDCRD$ を算出する。この触媒還元モード操作量 $DKCMDCRD$ は、触媒還元モード中の目標空燃比 $KCMD$ を算出するためのものであり、具体的には、排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出される。このテーブルでは、触媒還元モード操作量 $DKCMDCRD$ は、排気ガスボリューム AB_SV が大きいほど、リッチ化の度合いが小さくなるような値に設定されている。なお、触媒還元モード操作量 $DKCMDCRD$ を、空燃比 $A/F = 12$ に相当する所定値に設定してもよい。また、触媒還元モードは、フューエルカット運転後に触媒装置 8a, 8b を還元させるために実行される運転モードである。

【0087】

次に、ステップ38および39において、後述するように、SLDコントローラ25およびDSMコントローラ24により、スライディングモード操作量 $DKCMDSLD$ および $\Delta\Sigma$ 変調操作量 $DKCMDDSM$ をそれぞれ算出する。

【0088】

次いで、ステップ40に進み、後述するように、SLDコントローラ25により算出されたスライディングモード操作量 $DKCMDSLD$ 、またはDSMコントローラ24により算出された $\Delta\Sigma$ 変調操作量 $DKCMDDSM$ を用いて、適応

目標空燃比K C M D S L Dを算出する。この後、ステップ4 1に進み、後述するように、適応補正項F L A F A D Pを算出した後、本処理を終了する。

【 0 0 8 9 】

一方、図1 3に戻り、前記ステップ2 7の判別結果がN Oで、P R I S M処理およびA D S M処理の実行条件がいずれも成立していないときには、ステップ4 2に進み、パラメータ初期化フラグF _ I D R S E Tを「1」にセットする。次に、図1 4の上記ステップ4 0, 4 1を実行した後、本処理を終了する。

【 0 0 9 0 】

次に、図1 5を参照しながら、前述したステップ2 1の発進判定処理について説明する。この処理では、まず、ステップ4 9において、アイドル運転フラグF _ I D L E Pが「1」であるか否かを判別する。このアイドル運転フラグF _ I D L E Pは、アイドル運転中であるときに「1」に、それ以外のときに「0」にセットされる。なお、このアイドル運転フラグF _ I D L E Pを設定する処理では、アイドル運転中であるか否かの判定は、エンジン回転数N E、吸気管内絶対圧P B Aおよびスロットル弁開度 θ T Hなどに基づいて実行される。

【 0 0 9 1 】

この判別結果がY E Sで、アイドル運転中であるときには、ステップ5 0に進み、車速V Pが所定車速V S T A R T（例えば1 k m / h）より小さいか否かを判別する。この判別結果がY E Sで、停車中であるときには、ステップ5 1に進み、ダウンカウント式の第1発進判定タイマのタイマ値T M V O T V S Tを第1所定時間T V O T V S T（例えば3 m s e c）に設定する。

【 0 0 9 2 】

次いで、ステップ5 2に進み、ダウンカウント式の第2発進判定タイマのタイマ値T M V S Tを、上記第1所定時間T V O T V S Tよりも長い第2所定時間T V S T（例えば5 0 0 m s e c）に設定する。次いで、ステップ5 3, 5 4において、第1および第2発進フラグF _ V O T V S T, F _ V S Tをいずれも「0」にセットした後、本処理を終了する。

【 0 0 9 3 】

一方、ステップ4 9または5 0の判別結果がN Oのとき、すなわちアイドル運

転中でないか、または車両が発進したときには、ステップ 5 5 に進み、第 1 発進判定タイマのタイマ値 $TMVOTVST$ が値 0 より大きいかな否かを判別する。この判別結果が YES で、アイドル運転の終了後または車両の発進後、第 1 所定時間 $TVOTVST$ が経過していないときには、第 1 発進モード中であるとして、ステップ 5 6 に進み、それを表すために第 1 発進フラグ F_VOTVST を「1」にセットする。

【 0 0 9 4 】

一方、ステップ 5 5 の判別結果が NO で、アイドル運転の終了後または車両の発進後、第 1 所定時間 $TVOTVST$ が経過したときには、第 1 発進モードが終了したとして、ステップ 5 7 に進み、第 1 発進フラグ F_VOTVST を「0」にセットする。

【 0 0 9 5 】

ステップ 5 6 または 5 7 に続くステップ 5 8 では、第 2 発進判定タイマのタイマ値 $TMVST$ が値 0 より大きいかな否かを判別する。この判別結果が YES で、アイドル運転の終了後または車両の発進後、第 2 所定時間 $TVST$ が経過していないときには、第 2 発進モード中であるとして、ステップ 5 9 に進み、それを表すために第 2 発進フラグ F_VST を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【 0 0 9 6 】

一方、ステップ 5 8 の判別結果が NO で、アイドル運転の終了後または車両の発進後、第 2 所定時間 $TVST$ が経過したときには、第 2 発進モードが終了したとして、前記ステップ 5 4 を実行した後、本処理を終了する。

【 0 0 9 7 】

次に、図 1 6 を参照しながら、前述したステップ 2 5 の各種パラメータを算出する処理について説明する。この処理では、まず、ステップ 6 0 において、下式 (3 6) により、排気ガスボリューム AB_SV (空間速度の推定値) を算出する。

$$AB_SV = (NE / 1500) \cdot PBA \cdot SV PRA \quad \dots (36)$$

ここで、 $SV PRA$ は、エンジン排気量に基づいて決定される所定の係数であ

る。

【 0 0 9 8 】

次に、ステップ 6 1 に進み、前述した空燃比操作系のむだ時間 $KACT_D$ ($= d'$)、排気系のむだ時間 CAT_DELAY ($= d$) および予測時間 d_t を算出する。具体的には、ステップ 6 0 で算出された排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図示しないテーブルを検索することにより、むだ時間 $KACT_D$ 、 CAT_DELAY をそれぞれ算出するとともに、これらの和 ($KACT_D + CAT_DELAY$) を予測時間 d_t として設定する。すなわち、この制御プログラムでは、位相遅れ時間 dd が値 0 に設定される。

【 0 0 9 9 】

次に、ステップ 6 2 に進み、同定アルゴリズムの重みパラメータ λ_1 、 λ_2 の値を算出する。具体的には、重みパラメータ λ_2 を値 1 に設定すると同時に、重みパラメータ λ_1 を、排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出する。

【 0 1 0 0 】

次に、ステップ 6 3 に進み、モデルパラメータ a_1 、 a_2 の値を制限するための下限値 $IDA2L$ と、モデルパラメータ b_1 の値を制限するための下限値 $IDB1L$ および上限値 $IDB1H$ とを、排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出する。

【 0 1 0 1 】

次いで、ステップ 6 4 に進み、移動平均フィルタリング処理のフィルタ次数 n を算出した後、本処理を終了する。この処理では、フィルタ次数 n を、排気ガスボリューム AB_SV に応じて、図示しないテーブルを検索することにより、算出する。

【 0 1 0 2 】

次に、図 1 7 を参照しながら、前記ステップ 2 6 の $ADSM$ モードフラグ $F_DSMMODE$ の設定処理について説明する。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ 7 1 において、前記アイドル運転フラグ F_IDLEP およびアイドル時 $ADSM$ フラグ F_SWDSMI がいずれも「1」であるか否かを判

別する。このアイドル時 A D S M フラグ F _ S W D S M I は、エンジン 3 がアイドル運転中でかつ A D S M 処理を実行すべき運転状態にあるときに「1」に、それ以外のときに「0」にそれぞれセットされる。

【 0 1 0 3 】

ステップ 7 1 の判別結果が Y E S で、エンジン 3 がアイドル運転中でかつ A D S M 処理を実行可能な運転状態にあるときには、ステップ 7 7 に進み、エンジン 3 が A D S M 処理を実行すべき運転状態にあることを表すために、A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【 0 1 0 4 】

一方、ステップ 7 1 の判別結果が N O のときには、ステップ 7 2 に進み、前記第 2 発進フラグ F _ V S T および発進時 A D S M フラグ F _ S W D S M V S がいずれも「1」であるか否かを判別する。この発進時 A D S M フラグ F _ S W D S M V S は、車両の発進中にエンジン 3 が A D S M 処理を実行すべき運転状態にあるときに「1」に、それ以外のときに「0」にそれぞれセットされる。

【 0 1 0 5 】

ステップ 7 2 の判別結果が Y E S で、第 2 発進モード中でかつ車両の発進中にエンジン 3 が A D S M 処理を実行すべき運転状態にあるときには、前記ステップ 7 7 を実行した後、本処理を終了する。

【 0 1 0 6 】

一方、ステップ 7 2 の判別結果が N O のときには、ステップ 7 3 に進み、排気ガスボリューム A B _ S V が所定の下限值 D S M S V L 以上でかつ所定の上限値 D S M S V H 以下の範囲内にあるか否かを判別する。この判別結果が Y E S のときには、エンジン 3 の負荷が A D S M 処理を実行すべき状態にあるとして、前記ステップ 7 7 を実行した後、本処理を終了する。

【 0 1 0 7 】

一方、ステップ 7 3 の判別結果が N O のときには、ステップ 7 4 に進み、R A M に記憶されている、前回のループでの A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E の設定値が「1」であるか否かを判別する。

【 0 1 0 8 】

この判別結果が Y E S のときには、ステップ 7 5 に進み、R A M に記憶されている、出力偏差の予測値 P R E V O 2 の前回ループでの算出値の絶対値が所定値 V D S M E N D（所定の範囲を規定する値）以下であるか否かを判別する。この判別結果が Y E S のときには、エンジン 3 が、目標空燃比 K C M D の算出を A D S M 処理から P R I S M 処理に切り換えるべき運転状態にあるとして、ステップ 7 6 に進み、それを表すために A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E を「0」にセットした後、本処理を終了する。

【 0 1 0 9 】

一方、ステップ 7 5 の判別結果が N O のときには、前記ステップ 7 7 を実行した後、本処理を終了する。

【 0 1 1 0 】

一方、ステップ 7 4 の判別結果が N O のときには、ステップ 7 5 をスキップして、上記ステップ 7 6 を実行した後、本処理を終了する。

【 0 1 1 1 】

以上のように、この A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E の設定処理では、A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E は、ステップ 7 1 ~ 7 3 の A D S M 処理の実行条件が成立しておらず、かつ前回のループで A D S M 処理の実行条件が成立していた場合において、出力偏差の予測値 P R E V O 2 の前回の絶対値が所定値 V D S M E N D 以下であるとき、言い換えれば、O 2 センサ 1 5 の出力 V o u t が目標値 V o p に近づいた状態にあるときに「0」に、それ以外の場合に「1」に設定される。この理由については、後述する。

【 0 1 1 2 】

次に、図 1 8 を参照しながら、前記ステップ 3 2 のオンボード同定器 2 3 の演算処理について説明する。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ 8 0 において、前述した式 (1 4) より、ゲイン係数 K P (k) を算出する。次に、ステップ 8 1 に進み、前述した式 (1 2) より、出力偏差 V O 2 の同定値 V O 2 H A T (k) を算出する。

【 0 1 1 3 】

次いで、ステップ 8 2 に進み、前述した式 (1 0) (1 1) より、同定誤差フ

イルタ値 $ide_f(k)$ を算出下後、ステップ 83 に進み、前述した式 (8) より、モデルパラメータのベクトル $\theta(k)$ を算出する。

【0114】

次に、ステップ 84 に進み、モデルパラメータのベクトル $\theta(k)$ の安定化処理を実行する。この処理の内容は図示しないが、具体的には、ステップ 83 で算出されたモデルパラメータの同定値 a_1' , a_2' を、前記ステップ 63 で算出された下限値 $IDA2L$ に基づく制限範囲内の値になるように制限することにより、モデルパラメータ a_1 , a_2 を算出する。これに加えて、モデルパラメータ b_1 の同定値 b_1' を、前記ステップ 63 で算出された上下限值 $IDB1L$, $IDB1H$ に基づく制限範囲内の値になるように制限することにより、モデルパラメータ b_1 を算出する。以上により、モデルパラメータ a_1 , a_2 , b_1 は、制御系の安定性を確保できる値に設定される。

【0115】

次いで、ステップ 85 に進み、前述した式 (15) より、正方行列 $P(k)$ の次回値 $P(k+1)$ を算出する。この次回値 $P(k+1)$ は、次のループでの算出において、正方行列 $P(k)$ の値として用いられる。

【0116】

次に、図 19 を参照しながら、前述したステップ 35 の操作量 USL を算出する処理について説明する。この処理では、まず、ステップ 90 において、前述した図 11 の式 (30) により、予測切換関数 σPRE を算出する。

【0117】

次に、ステップ 91 に進み、予測切換関数 σPRE の積算値 $SUMSIGMA$ を算出する。この処理では、図 20 に示すように、まず、ステップ 100 において、下記の 3 つの条件 (f11) ~ (f13) のうちの少なくとも 1 つが成立しているか否かを判別する。

(f11) 適応制御フラグ $F_PRISMION$ が「1」であること。

(f12) 後述する積算値保持フラグ F_SSHOLD が「0」であること。

(f13) $ADSM$ モードフラグ $F_DSMMODE$ が「0」であること。

【0118】

このステップ 1 0 0 の判別結果が Y E S のとき、すなわち積算値 S U M S I G M A の算出条件が成立しているときには、ステップ 1 0 1 に進み、積算値 S U M S I G M A の今回値 S U M S I G M A (k) を、前回値 S U M S I G M A (k - 1) に、制御周期 ΔT と予測切換関数 $\sigma P R E$ との積を加算した値 $[S U M S I G M A (k - 1) + \Delta T \cdot \sigma P R E]$ に設定する。

【 0 1 1 9 】

次いで、ステップ 1 0 2 に進み、ステップ 1 0 1 で算出した今回値 S U M S I G M A (k) が所定の下限值 S U M S L より大きいかな否かを判別する。この判別結果が Y E S のときには、ステップ 1 0 3 に進み、今回値 S U M S I G M A (k) が所定の上限値 S U M S H より小さいかな否かを判別する。この判別結果が Y E S で、 $S U M S L < S U M S I G M A (k) < S U M S H$ のときには、そのまま本処理を終了する。

【 0 1 2 0 】

一方、ステップ 1 0 3 の判別結果が N O で、 $S U M S I G M A (k) \geq S U M S H$ のときには、ステップ 1 0 4 に進み、今回値 S U M S I G M A (k) を上限値 S U M S H に設定した後、本処理を終了する。一方、ステップ 1 0 2 の判別結果が N O で、 $S U M S I G M A (k) \leq S U M S L$ のときには、ステップ 1 0 5 に進み、今回値 S U M S I G M A (k) を下限値 S U M S L に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 2 1 】

一方、ステップ 1 0 0 の判別結果が N O のとき、すなわち 3 つの条件 (f 1 1) ~ (f 1 3) がいずれも不成立で、積算値 S U M S I G M A の算出条件が不成立であるときには、ステップ 1 0 6 に進み、今回値 S U M S I G M A (k) を前回値 S U M S I G M A (k - 1) に設定する。すなわち、積算値 S U M S I G M A をホールドする。この後、本処理を終了する。

【 0 1 2 2 】

図 1 9 に戻り、ステップ 9 1 に続くステップ 9 2 ~ 9 4 において、前述した図 1 1 の式 (3 2) ~ (3 4) により、等価制御入力 U E Q (= U e q) 、到達則入力 U R C H (= U r c h) および適応則入力 U A D P (= U a d p) をそれぞれ

れ算出する。

【 0 1 2 3 】

次に、ステップ 9 5 に進み、これらの等価制御入力 U E Q、到達則入力 U R C H および適応則入力 U A D P の和を、操作量 U S L として設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 2 4 】

次に、図 2 1 および図 2 2 を参照しながら、前述した図 1 4 のステップ 3 8 のスライディングモード操作量 D K C M D S L D の算出処理について説明する。この処理は、上記ステップ 9 5 で算出された操作量 U S L を、後述する各種の上下限值により規定される制限範囲内の値に制限することによって、スライディングモード操作量 D K C M D S L D を算出するものである。

【 0 1 2 5 】

この処理では、まず、ステップ 1 1 1 において、触媒還元モードフラグ F _ C T R D M O D が「 0 」であるか否かを判別する。この触媒還元モードフラグ F _ C T R D M O D は、エンジン 3 が触媒還元モード中であるときに「 1 」に、それ以外のときに「 0 」にそれぞれセットされる。

【 0 1 2 6 】

ステップ 1 1 1 の判別結果が Y E S で、エンジン 3 が触媒還元モード中でないときには、ステップ 1 1 2 に進み、A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E が「 0 」であるか否かを判別する。

【 0 1 2 7 】

この判別結果が Y E S で、エンジン 3 が P R I S M 処理を実行すべき運転状態にあるときには、ステップ 1 1 3 に進み、リミット値算出処理を実行する。このリミット値算出処理では、後述するように、適応上下限值 U S L A H , U S L A L , そのリミット処理値 U S L A L H , U S L A L L 、非アイドル運転用の上下限值 U S L A H F , U S L A L F 、およびアイドル運転用の上下限值 U S L A H F I , U S L A L F I がそれぞれ算出される。

【 0 1 2 8 】

次いで、ステップ 1 1 4 に進み、アイドル運転フラグ F _ I D L E P が「 0 」

であるか否かを判別する。この判別結果が Y E S で、アイドル運転中でないときには、ステップ 1 1 5 に進み、前記ステップ 9 5 で算出された操作量 U S L が、非アイドル運転用の下限値 U S L A L F（制限範囲の下限を規定する値）以下であるか否かを判別する。

【 0 1 2 9 】

この判別結果が N O で、 $U S L > U S L A L F$ のときには、ステップ 1 1 6 に進み、操作量 U S L が非アイドル運転用の上限値 U S L A H F 以上であるか否かを判別する。この判別結果が N O で、 $U S L A L F < U S L < U S L A H F$ のときには、ステップ 1 1 7 に進み、スライディングモード操作量 D K C M D S L D を操作量 U S L に設定すると同時に、積算値保持フラグ F _ S S H O L D を「0」にセットする。

【 0 1 3 0 】

次いで、ステップ 1 1 8 に進み、適応下限値 U S L A L を、そのリミット処理値 U S L A L L に所定の縮小側値 A L D E C を加算した値 $[U S L A L L + A L D E C]$ に設定すると同時に、適応上限値 U S L A H を、そのリミット処理値 U S L A L H から所定の縮小側値 A L D E C を減算した値 $[U S L A L H - A L D E C]$ に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 3 1 】

一方、ステップ 1 1 6 の判別結果が Y E S で、 $U S L \geq U S L A H F$ のときには、ステップ 1 1 9 に進み、スライディングモード操作量 D K C M D S L D を非アイドル運転用の適応上限値 U S L A H F に設定すると同時に、積算値保持フラグ F _ S S H O L D を「1」にセットする。

【 0 1 3 2 】

次いで、ステップ 1 2 0 に進み、始動後タイマのタイマ値 T M A C R が所定時間 T M A W A S T より小さいこと、または F / C 後判定フラグ F _ A F C が「1」であることが成立しているか否かを判別する。この始動後タイマは、エンジン 3 の始動後の経過時間を計時するアップカウント式のタイマである。

【 0 1 3 3 】

この判別結果が Y E S のとき、すなわち、エンジン始動後、所定時間 T M A W

A S T が経過していないか、またはフューエルカット運転の終了後、所定時間 T M _ A F C が経過していないときには、そのまま本処理を終了する。

【 0 1 3 4 】

一方、ステップ 1 2 0 の判別結果が N O のとき、すなわち、エンジン始動後、所定時間 T M A W A S T が経過し、かつフューエルカット運転の終了後、所定時間 T M _ A F C が経過したときには、ステップ 1 2 1 に進み、適応下限値 U S L A L を、そのリミット処理値 U S L A L L に縮小側値 A L D E C を加算した値 [U S L A L L + A L D E C] に設定すると同時に、適応上限値 U S L A H を、そのリミット処理値 U S L A L H に所定の拡大側値 A L I N C を加算した値 [U S L A L H + A L I N C] に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 3 5 】

一方、ステップ 1 1 5 の判別結果が Y E S で、 $U S L \leq U S L A L F$ のときには、図 2 2 のステップ 1 2 4 に進み、スライディングモード操作量 D K C M D S L D を非アイドル運転用の適応下限値 U S L A L F に設定すると同時に、積算値保持フラグ F _ S S H O L D を「1」にセットする。

【 0 1 3 6 】

次いで、ステップ 1 2 5 に進み、第 2 発進フラグ F _ V S T が「1」であるかを判別する。この判別結果が Y E S で、車両の発進後、第 2 所定時間 T V S T が経過しておらず、第 2 発進モード中であるときには、そのまま本処理を終了する。

【 0 1 3 7 】

一方、ステップ 1 2 5 の判別結果が N O で、車両の発進後、第 2 所定時間 T V S T が経過し、第 2 発進モードが終了したときには、ステップ 1 2 6 に進み、適応下限値 U S L A L を、そのリミット処理値 U S L A L L から拡大側値 A L I N C を減算した値 [U S L A L L - A L I N C] に設定すると同時に、適応上限値 U S L A H を、そのリミット処理値 U S L A L H から縮小側値 A L D E C を減算した値 [U S L A L H - A L D E C] に設定する。その後、本処理を終了する。

【 0 1 3 8 】

一方、ステップ 1 1 4 の判別結果が N O で、アイドル運転中であるときには、

図 2 2 のステップ 1 2 7 に進み、操作量 USL が、アイドル運転用の下限値 $USLALFI$ 以下であるか否かを判別する。この判別結果が NO で、 $USL > USLALFI$ のときには、ステップ 1 2 8 に進み、操作量 USL がアイドル運転用の上限値 $USLAHFI$ 以上であるか否かを判別する。

【 0 1 3 9 】

この判別結果が NO で、 $USLALFI < USL < USLAHFI$ のときには、ステップ 1 2 9 に進み、スライディングモード操作量 $DKCMDSLD$ を操作量 USL に設定すると同時に、積算値保持フラグ F_SSHOLD を「0」にセットした後、本処理を終了する。

【 0 1 4 0 】

一方、ステップ 1 2 8 の判別結果が YES で、 $USL \geq USLAHFI$ のときには、ステップ 1 3 0 に進み、スライディングモード操作量 $DKCMDSLD$ をアイドル運転用の上限値 $USLAHFI$ に設定すると同時に、積算値保持フラグ F_SSHOLD を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【 0 1 4 1 】

一方、ステップ 1 2 7 の判別結果が YES で、 $USL \leq USLALFI$ のときには、ステップ 1 3 1 に進み、スライディングモード操作量 $DKCMDSLD$ をアイドル運転用の下限値 $USLALFI$ に設定すると同時に、積算値保持フラグ F_SSHOLD を「1」にセットした後、本処理を終了する。

【 0 1 4 2 】

一方、図 2 1 に戻り、前述したステップ 1 1 1, 1 1 2 のいずれかの判別結果が NO のとき、すなわちエンジン 3 が触媒還元モード中にあるとき、またはエンジン 3 が $ADSM$ 処理を実行すべき運転状態にあるときには、ステップ 1 2 2 に進み、スライディングモード操作量 $DKCMDSLD$ を所定値 $SLDHOLD$ に設定する。この所定値 $SLDHOLD$ は、後述するように、目標空燃比 $KCMD$ の算出が $ADSM$ 処理から $PRISM$ 処理に切り換えられたときに、切り換え直後にステップ 1 9 3 で算出される目標空燃比 $KCMD$ が過度にリーン側の値にならないような値として設定される。

【 0 1 4 3 】

次いで、ステップ 1 2 3 に進み、適応下限値 U S L A L を所定の初期値 U S L L C R D に設定した後、本処理を終了する。この初期値 U S L L C R D は、後述するように、目標空燃比 K C M D の算出が A D S M 処理から P R I S M 処理に切り換えられた際、切り換え後の初期において目標空燃比 K C M D が過度にリーン側の値にならないように、以上の図 2 1, 2 2 の処理でスライディングモード操作量 D K C M D S L D の制限範囲を設定するための値である。

【 0 1 4 4 】

以上のように、このスライディングモード操作量 D K C M D S L D の算出処理では、E C U 2 およびエンジン 3 が適応目標空燃比 K C M D S L D を P R I S M 処理により算出すべき状態にあるときには、スライディングモード操作量 D K C M D S L D は、アイドル運転用の上下限值 U S L A H F I, U S L A L F I または非アイドル運転用の U S L A H F, U S L A L F により規定される制限範囲内の値に設定される。すなわち、リミット処理を施された値に設定される。

【 0 1 4 5 】

一方、E C U 2 またはエンジン 3 が適応目標空燃比 K C M D S L D を P R I S M 処理により算出すべき状態にないときには、スライディングモード操作量 D K C M D S L D が所定値 S L D H O L D に設定されると同時に、適応下限値 U S L A L が所定の初期値 U S L L C R D に設定される。これは、後述するように、目標空燃比 K C M D の算出が A D S M 処理から P R I S M 処理に切り換えられた際、切り換え後の初期において、目標空燃比 K C M D をリーン側に過度に変化しないように制御するためである。

【 0 1 4 6 】

次に、図 2 3 および図 2 4 を参照しながら、前記ステップ 1 1 3 のリミット値算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ 1 4 0 において、適応上下限値のリミット処理値 U S L A L H, U S L A L L を算出する。

【 0 1 4 7 】

この処理では、図 2 4 に示すように、ステップ 1 6 0 において、リミット処理オフフラグ F _ S W A W O F F が「1」であるか否かを判別する。このリミット処理オフフラグ F _ S W A W O F F は、E C U 2 がリミット処理を実行可能な演

算処理状態にないときに「1」に、それ以外の場合に「0」にセットされる。この判別結果がNOで、ECU2がリミット処理を実行可能な演算処理状態にあるときには、ステップ161に進み、F/C後判定フラグF__AFCが「1」であるか否かを判別する。

【0148】

この判別結果がNOで、フューエルカット運転の終了後、所定時間TM__AFCが経過したときには、ステップ162に進み、アイドル運転フラグF__IDLEPが「1」であるか否かを判別する。

【0149】

この判別結果がNOで、エンジン3がアイドル運転中でないときには、ステップ163に進み、高不安定フラグF__SLDST2が「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、スライディングモード制御が高不安定レベルにないときには、ステップ164に進み、低不安定フラグF__SLDST1が「1」であるか否かを判別する。

【0150】

この判別結果がNOで、スライディングモード制御が安定レベルにあるときには、ステップ165に進み、安定レベル用の適応上下限値のリミット処理値USLALH, USLALLを以下に述べるように算出した後、本処理を終了する。

【0151】

このステップ165では、図示しないが、適応上限値のリミット処理値USLALHを、RAMに記憶されている適応上限値USLAHと、所定の安定レベル用のリッチ側上下限値USLHH, USLLMTHとの比較結果に基づいて、算出する。具体的には、適応上限値のリミット処理値USLALHを、 $USLLMTH \leq USLAH \leq USLHH$ のときには、適応上限値USLAHに設定し、 $USLHH < USLAH$ のときには、安定レベル用のリッチ側上限値USLHHに設定し、 $USLAH < USLLMTH$ のときには、安定レベル用のリッチ側下限値USLLMTHにそれぞれ設定する。

【0152】

また、適応下限値のリミット処理値USLALLを、RAMに記憶されている

適応下限値 $USLAL$ と、所定の安定レベル用のリーン側上下限值 $USLLL$ 、 $USLLMTL$ との比較結果に基づいて、算出する。具体的には、適応下限値のリミット処理値 $USLALL$ を、 $USLLL \leq USLAL \leq USLLMTL$ のときには、適応下限値 $USLAL$ に設定し、 $USLLMTL < USLAL$ のときには、安定レベル用のリーン側上限値 $USLLMTL$ に設定し、 $USLAL < USLLL$ のときには、安定レベル用のリーン側下限値 $USLL$ にそれぞれ設定する。

【 0 1 5 3 】

一方、ステップ 1 6 4 の判別結果が YES で、スライディングモード制御が低不安定レベルにあるときには、ステップ 1 6 6 に進み、低不安定レベル用の適応上下限值のリミット処理値 $USLALH$ 、 $USLALL$ を以下に述べるように算出した後、本処理を終了する。

【 0 1 5 4 】

このステップ 1 6 6 では、図示しないが、適応上限値のリミット処理値 $USLALH$ を、適応上限値 $USLAH$ と、所定の低不安定レベル用のリッチ側上限値 $USLH$ および前記安定レベル用のリッチ側下限値 $USLLMTH$ との比較結果に基づいて、算出する。具体的には、適応上限値のリミット処理値 $USLALH$ を、 $USLLMTH \leq USLAH \leq USLH$ のときには、適応上限値 $USLAH$ に設定し、 $USLH < USLAH$ のときには、低不安定レベル用のリッチ側上限値 $USLH$ に設定し、 $USLAH < USLLMTH$ のときには、安定レベル用のリッチ側下限値 $USLLMTH$ にそれぞれ設定する。

【 0 1 5 5 】

また、適応下限値のリミット処理値 $USLALL$ を、適応下限値 $USLAL$ と、前記安定レベル用のリーン側上限値 $USLLMTL$ および所定の低不安定レベル用のリーン側下限値 $USLL$ との比較結果に基づいて、算出する。具体的には、適応下限値のリミット処理値 $USLALL$ を、 $USLL \leq USLAL \leq USLLMTL$ のときには、適応下限値 $USLAL$ に設定し、 $USLLMTL < USLAL$ のときには、安定レベル用のリーン側上限値 $USLLMTL$ に設定し、 $USLAL < USLL$ のときには、低不安定レベル用のリーン側下限値 $USLL$ にそ

れぞれ設定する。

【 0 1 5 6 】

一方、ステップ 1 6 3 の判別結果が Y E S で、スライディングモード制御が高不安定レベルにあるときには、ステップ 1 6 7 に進み、高不安定レベル用の適応上下限値のリミット処理値 U S L A L H, U S L A L L を以下に述べるように算出した後、本処理を終了する。

【 0 1 5 7 】

このステップ 1 6 7 では、図示しないが、適応上限値のリミット処理値 U S L A L H を、適応上限値 U S L A H と、所定の高不安定レベル用のリッチ側上限値 U S L S T B H および前記安定レベル用のリッチ側下限値 U S L L M T H との比較結果に基づいて、算出する。具体的には、適応上限値のリミット処理値 U S L A L H を、 $U S L L M T H \leq U S L A H \leq U S L S T B H$ のときには、適応上限値 U S L A H に設定し、 $U S L S T B H < U S L A H$ のときには、高不安定レベル用のリッチ側上限値 U S L S T B H に設定し、 $U S L A H < U S L L M T H$ のときには、安定レベル用のリッチ側下限値 U S L L M T H にそれぞれ設定する。

【 0 1 5 8 】

また、適応下限値のリミット処理値 U S L A L L を、適応下限値 U S L A L と、前記安定レベル用のリーン側上限値 U S L L M T L および所定の高不安定レベル用のリーン側下限値 U S L S T B L との比較結果に基づいて、算出する。具体的には、適応下限値のリミット処理値 U S L A L L を、 $U S L S T B L \leq U S L A L \leq U S L L M T L$ のときには、適応下限値 U S L A L に設定し、 $U S L L M T L < U S L A L$ のときには、安定レベル用のリーン側上限値 U S L L M T L に設定し、 $U S L A L < U S L S T B L$ のときには、高不安定レベル用のリーン側下限値 U S L S T B L にそれぞれ設定する。

【 0 1 5 9 】

なお、適応上限値のリミット処理値 U S L A L H の算出で用いられる以上の各種の上下限値は、 $U S L L M T H \leq U S L S T B H \leq U S L H \leq U S L H H$ の関係が成立するように設定されており、適応下限値のリミット処理値 U S L A L L の算出で用いられる以上の各種の上下限値は、 $U S L L L \leq U S L L \leq U S L S$

$TBL \leq USLLMTL$ の関係が成立するように設定されている。

【0160】

一方、ステップ161または162の判別結果がYESのとき、すなわちフューエルカット運転の終了後、所定時間 TM_AFC が経過していないとき、またはエンジン3がアイドル運転中であるときには、そのまま本処理を終了する。

【0161】

一方、ステップ160の判別結果がYESで、ECU2がリミット処理を実行可能な演算処理状態にないときには、ステップ168に進み、適応上下限値のリミット処理値 $USLAH$ 、 $USLAL$ を、前記低不安定レベル用のリッチ側上限値 $USLH$ および前記低不安定レベル用のリーン側下限値 $USLL$ にそれぞれセットした後、本処理を終了する。

【0162】

図23に戻り、前記ステップ140に続くステップ141において、前記リミット処理オフフラグ $F_SWAWOFF$ が「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、ECU2がリミット処理を実行可能な演算処理状態にあるときには、ステップ142に進み、前記F/C後判定フラグ F_AFC が「1」であるか否かを判別する。

【0163】

この判別結果がNOで、フューエルカット運転の終了後、所定時間 TM_AFC が経過したときには、ステップ143に進み、前記アイドル運転フラグ F_IDLEP が「1」であるか否かを判別する。この判別結果がNOで、エンジン3がアイドル運転中でないときには、ステップ144に進み、第2発進フラグ F_VST が「1」であるか否かを判別する。

【0164】

この判別結果がNOで、第2発進モードが終了したとき、すなわち車両の発進後、第2所定時間 $TVST$ が経過したときには、ステップ145に進み、非アイドル運転用の上下限値 $USLAHF$ 、 $USLALF$ をそれぞれ、ステップ140で算出された適応上下限値のリミット処理値 $USLAH$ 、 $USLAL$ に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 6 5 】

一方、ステップ 1 4 4 の判別結果が Y E S で、第 2 発進モード中であるときには、ステップ 1 4 6 に進み、非アイドル運転用の上限値 U S L A H F をステップ 1 4 0 で算出された適応上限値のリミット処理値 U S L A L H に、非アイドル運転用の下限値 U S L A L F を所定の第 2 発進モード用の下限値 U S L V S T にそれぞれ設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 6 6 】

一方、ステップ 1 4 3 の判別結果が Y E S で、アイドル運転中であるときには、ステップ 1 4 7 に進み、前記高不安定フラグ F _ S L D S T 2 が「1」であるか否かを判別する。この判別結果が N O で、スライディングモード制御が高不安定レベルにないときには、ステップ 1 4 8 に進み、アイドル運転用の上下限值 U S L A H F I , U S L A L F I をそれぞれ、所定のアイドル運転時の安定レベル用の上下限值 U S L H I , U S L L I に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 6 7 】

一方、ステップ 1 4 7 の判別結果が Y E S で、スライディングモード制御が高不安定レベルにあるときには、ステップ 1 4 9 に進み、アイドル運転用の上下限值 U S L A H F I , U S L A L F I をそれぞれ、所定のアイドル運転時の高不安定レベル用の上下限值 U S L S T B H I , U S L S T B L I に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 6 8 】

一方、ステップ 1 4 2 の判別結果が Y E S で、フューエルカット運転の終了後、所定時間 T M _ A F C が経過していないときには、ステップ 1 5 0 に進み、非アイドル運転用の上限値 U S L A H F を所定のアイドル後用の上限値 U S L A F C に、非アイドル運転用の下限値 U S L A L F をステップ 1 4 0 で算出された適応下限値のリミット処理値 U S L A L L に、アイドル運転用の上限値 U S L A H F I を上記アイドル後用の上限値 U S L A F C に、アイドル運転用の下限値 U S L A L F I を前記アイドル運転時の安定レベル用の下限値 U S L L I にそれぞれ設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 6 9 】

一方、ステップ 1 4 1 の判別結果が Y E S で、E C U 2 がリミット処理を実行可能な演算処理状態にないときには、ステップ 1 5 1 に進み、非アイドル運転用の上下限值 U S L A H F, U S L A L F を、前記低不安定レベル用のリッチ側上限値 U S L H および前記低不安定レベル用のリーン側下限値 U S L L にそれぞれ設定すると同時に、アイドル運転用の上下限值 U S L A H F I, U S L A L F I をそれぞれ、前記アイドル運転時の安定レベル用の上下限值 U S L H I, U S L L I に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 7 0 】

次に、図 2 5 を参照しながら、前述した図 1 4 のステップ 3 9 の $\Delta \Sigma$ 変調操作量 D K C M D D S M を算出する処理について説明する。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ 1 7 0 において、A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E が「1」であるか否かを判別する。この判別結果が Y E S で、エンジン 3 が A D S M 処理を実行すべき運転状態にあるときには、ステップ 1 7 1 に進み、R A M に記憶されている、前回のループで算出された D S M 信号値の今回値 D S M S G N S (k) [= u (k)] を、前回値 D S M S G N S (k - 1) [= u (k - 1)] として設定する。

【 0 1 7 1 】

次に、ステップ 1 7 2 に進み、R A M に記憶されている、前回のループで算出された偏差積分値の今回値 D S M S I G M A (k) [= $\sigma_d(k)$] を、前回値 D S M S I G M A (k - 1) [= $\sigma_d(k - 1)$] として設定する。

【 0 1 7 2 】

次いで、ステップ 1 7 3 に進み、出力偏差の予測値 P R E V O 2 (k) が値 0 以上であるか否かを判別する。この判別結果が Y E S のときには、エンジン 3 が混合気の空燃比をリーン側に変更すべき運転モードにあるとして、ステップ 1 7 4 に進み、参照信号値用の非線形ゲイン K R D S M (= G_d) を、リーン化用の値 K R D S M L (= G_d1) に設定した後、後述するステップ 1 7 6 に進む。

【 0 1 7 3 】

一方、ステップ 1 7 3 の判別結果が N O のときには、エンジン 3 が混合気の空燃比をリッチ側に変更すべき運転モードにあるとして、ステップ 1 7 5 に進み、

参照信号値用の非線形ゲイン $KRD SM$ を、リーン化用の値 $KRD SML$ よりも大きいリッチ化用の値 $KRD SMR$ ($=G_d 2 > G_d 1$) に設定した後、ステップ 1 7 6 に進む。

【 0 1 7 4 】

このように、非線形ゲイン $KRD SM$ が、予測値 $PREVO 2(k)$ に応じて、互いに異なるリーン化用の値 $KRD SML$ およびリッチ化用の値 $KRD SMR$ ($>KRD SML$) に設定される理由は、以下による。すなわち、混合気の空燃比をリーン側に変更する際には、リーン化用の値 $KRD SML$ をリッチ化用の値 $KRD SMR$ よりも小さい値に設定することで、 O_2 センサ 1 5 の出力 $Vout$ の目標値 Vop への収束速度がリッチ側への変更時よりも遅くなるように、空燃比を制御し、それにより、第 1 触媒装置 8 a 内の触媒の上流側端部が過度にリーン化されるのを回避することで、第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b の NO_x 浄化率を向上させるためである。一方、混合気の空燃比をリッチ側に変更する際には、リッチ化用の値 $KRD SMR$ をリーン化用の値 $KRD SML$ よりも大きい値に設定することで、 O_2 センサ 1 5 の出力 $Vout$ の目標値 Vop への収束速度がリーン側への変更時よりも速くなるように、空燃比を制御し、それにより、第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b のリーン雰囲気を迅速に解消し、リッチ雰囲気に移行させることで、第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b の NO_x 浄化率を迅速に回復させるためである。以上により、混合気の空燃比をリッチ側およびリーン側に変更する際、触媒装置 8 a, 8 b において、良好な NO_x 浄化率を確保することができる。

【 0 1 7 5 】

ステップ 1 7 4 または 1 7 5 に続くステップ 1 7 6 では、値 - 1、参照信号値用の非線形ゲイン $KRD SM$ および予測値の今回値 $PREVO 2(k)$ を互いに乗算した値から、上記ステップ 1 7 1 で算出した DSM 信号値の前回値 $DSMSGNS(k-1)$ を減算した値 $[-1 \cdot KRD SM \cdot PREVO 2(k) - DSMSGNS(k-1)]$ を、偏差信号値 $DSMDELTA [= \delta(k)]$ として設定する。この処理は、前述した式 (19), (20) に相当する。

【 0 1 7 6 】

次いで、ステップ 1 7 7 に進み、偏差積分値の今回値 $DSMSIGMA(k)$ を、ステップ 1 7 2 で算出した前回値 $DSMSIGMA(k-1)$ と、ステップ 1 7 6 で算出した偏差信号値 $DSMDELTA$ との和 $[DSMSIGMA(k-1) + DSMDELTA]$ に設定する。この処理は、前述した式 (2 1) に相当する。

【 0 1 7 7 】

次に、ステップ 1 7 8 ~ 1 8 0 において、ステップ 1 7 7 で算出した偏差積分値の今回値 $DSMSIGMA(k)$ が値 0 以上のときには、 DSM 信号値の今回値 $DSMSGNS(k)$ を値 1 に設定し、偏差積分値の今回値 $DSMSIGMA(k)$ が値 0 よりも小さいときには、 DSM 信号値の今回値 $DSMSGNS(k)$ を値 - 1 に設定する。以上のステップ 1 7 8 ~ 1 8 0 の処理は、前述した式 (2 2) に相当する。

【 0 1 7 8 】

次いで、ステップ 1 8 1 において、排気ガスボリウム AB_SV に応じて、図示しないテーブルを検索することにより、 DSM 信号値用のゲイン $KDSM (= F_d)$ を算出する。このテーブルでは、ゲイン $KDSM$ は、排気ガスボリウム AB_SV が小さいほど、より大きな値に設定されている。これは、排気ガスボリウム AB_SV が小さいほど、すなわちエンジン 3 の運転負荷が小さい状態であるほど、 O_2 センサ 1 5 の出力 $Vout$ の応答性が低下するので、それを補償するためである。

【 0 1 7 9 】

なお、このゲイン $KDSM$ の算出に用いるテーブルは、ゲイン $KDSM$ が排気ガスボリウム AB_SV に応じて設定されている上記テーブルに限らず、エンジン 3 の運転負荷を表すパラメータ（例えば基本燃料噴射量 Tim ）に応じてゲイン $KDSM$ が予め設定されているものであればよい。また、触媒装置 8 a の劣化判別器が設けられている場合には、この劣化判別器で判別された触媒装置 8 a の劣化度合が大きいほど、ゲイン DSM をより小さい値に補正するようにしてもよい。さらに、ゲイン $KDSM$ を、オンボード同定器 2 3 によって同定されたモデルパラメータに応じて決定してもよい。例えば、モデルパラメータ b_1 の逆数

(1 / b 1) の値が大きいほど、言い換えればモデルパラメータ b 1 の値が小さいほど、ゲイン K D S M をより大きい値に設定してもよい。

【 0 1 8 0 】

次に、ステップ 1 8 2 に進み、 $\Delta \Sigma$ 変調操作量 D K C M D D S M を、D S M 信号値用のゲイン K D S M と、D S M 信号値の今回値 D S M S G N S (k) とを互いに乗算した値 $[K D S M \cdot D S M S G N S (k)]$ に設定した後、本処理を終了する。この処理が、前述した式 (2 3) に相当する。

【 0 1 8 1 】

一方、ステップ 1 7 0 の判別結果が N O で、エンジン 3 が A D S M 処理を実行すべき運転状態にないときには、ステップ 1 8 3 に進み、D S M 信号値の前回値 D S M S G N S (k - 1) および今回値 D S M S G N S (k) をいずれも値 1 に設定する。

【 0 1 8 2 】

次いで、ステップ 1 8 4 に進み、偏差積分値の前回値 D S M S I G M A (k - 1) および今回値 D S M S I G M A (k) をいずれも値 0 に設定する。次に、ステップ 1 8 5 に進み、 $\Delta \Sigma$ 変調操作量 D K C M D D S M を値 0 に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 8 3 】

次に、図 2 6 を参照しながら、前述した図 1 4 のステップ 4 0 の適応目標空燃比 K C M D S L D を算出する処理について説明する。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ 1 9 0 において、前記ステップ 2 3 で設定された P R I S M / A D S M 実行フラグ F _ P R I S M C A L が「1」であるか否かを判別する。

【 0 1 8 4 】

この判別結果が Y E S のときには、ステップ 1 9 1 に進み、触媒還元モードフラグ F _ C T R M O D が「0」であるか否かを判別する。この触媒還元モードフラグ F _ C T R M O D は、エンジン 3 が触媒還元モードを実行すべき運転状態のときに「1」に、それ以外のときに「0」にそれぞれセットされる。

【 0 1 8 5 】

ステップ 1 9 1 の判別結果が Y E S で、エンジン 3 が触媒還元モードを実行すべき運転状態にないときには、ステップ 1 9 2 に進み、A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E が「0」であるか否かを判別する。

【 0 1 8 6 】

この判別結果が Y E S で、適応目標空燃比 K C M D S L D を P R I S M 処理で算出すべき運転状態のときには、ステップ 1 9 3 に進み、基準値 F L A F B A S E、適応補正項 F L A F A D P およびスライディングモード操作量 D K C M D S L D の和 $[F L A F B A S E + F L A F A D P + D K C M D S L D]$ を、適応目標空燃比 K C M D S L D として設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 8 7 】

一方、ステップ 1 9 2 の判別結果が N O で、適応目標空燃比 K C M D S L D を A D S M 処理で算出すべき運転状態のときには、ステップ 1 9 4 に進み、基準値 F L A F B A S E、適応補正項 F L A F A D P および $\Delta \Sigma$ 変調制御量 D K C M D D S M の和 $[F L A F B A S E + F L A F A D P + D K C M D D S M]$ を、適応目標空燃比 K C M D S L D として設定した後、本処理を終了する。この処理が、前述した式 (2 4) に相当する。

【 0 1 8 8 】

一方、ステップ 1 9 1 の判別結果が N O で、エンジン 3 が触媒還元モードを実行すべき運転状態にあるときには、ステップ 1 9 5 に進み、基準値 F L A F B A S E、適応補正項 F L A F A D P および触媒還元モード操作量 D K C M D C R D の和 $[F L A F B A S E + F L A F A D P + D K C M D C R D]$ を、適応目標空燃比 K C M D S L D として設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 8 9 】

一方、ステップ 1 9 0 の判別結果が N O で、エンジン 3 が P R I S M 処理、A D S M 処理または触媒還元モード処理を実行すべき運転状態にないときには、ステップ 1 9 6 に進み、基準値 F L A F B A S E、適応補正項 F L A F A D P および所定値 S L D H O L D の和 $[F L A F B A S E + F L A F A D P + S L D H O L D]$ を適応目標空燃比 K C M D S L D として設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 9 0 】

次に、図 2 7 を参照しながら、図 1 4 のステップ 4 1 の適応補正項 $FLAFADP$ の算出処理について説明する。この処理は、適応補正項の次回値 $FLAFADP(k+1)$ を算出するものであり、この次回値 $FLAFADP(k+1)$ は、次のループにおいて今回値 $FLAFADP(k)$ として用いられる。

【 0 1 9 1 】

この処理では、まず、ステップ 2 0 0 において、出力偏差 $VO2$ が所定の範囲 ($ADL < VO2 < ADH$) 内の値であるか否かを判別する。この判別結果が YES のとき、すなわち出力偏差 $VO2$ が小さく、 $O2$ センサ 1 5 の出力 $Vout$ が目標値 Vop の近傍にあるときには、ステップ 2 0 1 に進み、適応則入力 $UADP$ が所定の下限値 NRL より小さいか否かを判別する。

【 0 1 9 2 】

この判別結果が NO で、 $UADP \geq NRL$ のときには、ステップ 2 0 2 に進み、適応則入力 $UADP$ が所定の上限値 NRH より大きいかな否かを判別する。この判別結果が NO で、 $NRL \leq UADP \leq NRH$ のときには、ステップ 2 0 3 に進み、適応補正項の次回値 $FLAFADP(k+1)$ を今回値 $FLAFADP(k)$ に設定する。すなわち、適応補正項 $FLAFADP$ の値をホールドする。この後、本処理を終了する。

【 0 1 9 3 】

一方、ステップ 2 0 2 の判別結果が YES で、 $UADP > NRH$ のときには、ステップ 2 0 4 に進み、適応補正項の次回値 $FLAFADP(k+1)$ を、今回値 $FLAFADP(k)$ に所定の更新値 $FLAFDLT$ を加算した値 $[FLAFADP(k) + FLAFDLT]$ に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 9 4 】

一方、ステップ 2 0 1 の判別結果が YES で、 $UADP < NRL$ のときには、ステップ 2 0 5 に進み、適応補正項の次回値 $FLAFADP(k+1)$ を、今回値 $FLAFADP(k)$ から所定の更新値 $FLAFDLT$ を減算した値 $[FLAFADP(k) - FLAFDLT]$ に設定した後、本処理を終了する。

【 0 1 9 5 】

次に、図 2 8 および図 2 9 を参照しながら、以上の各制御処理により空燃比を

制御した場合において、 O_2 センサ15の出力 V_{out} が目標値 V_{op} よりも大きい状態すなわちリッチ側にある状態で、目標空燃比 K_{CMD} の算出処理が $ADSM$ 処理から $PRISM$ 処理に切り換わった際の動作について説明する。図28は、本実施形態の制御装置1により空燃比を制御した場合の動作の一例を示しており、図29は、比較のために、 $PRISM$ 処理において、前記ステップ74, 75および前記ステップ122, 123を省略した場合の動作の比較例を示している。なお、両図に示すデータは、理解の容易化のために、 $(FLAFBASE + FLAFADP)$ の値を、値1.0（理論空燃比に相当する当量比の値）に設定した場合のものである。また、両図に示す NO_x のデータは、第2触媒装置8bの下流側における測定データである。

【0196】

まず、図29に示すように、比較例では、 $ADSM$ 処理から $PRISM$ 処理に切り換わった際（時刻 t_2 ）、その直後に目標空燃比 K_{CMD} が $ADSM$ 処理中の値よりもリーン側の値に急激に変動すると同時に、排気ガス中の NO_x 排出量が一時的に急増し、触媒装置8a, 8bによる NO_x 浄化率が一時的に低下していることが分かる。これに対して、図28に示す本実施形態の動作例では、 $ADSM$ 処理から $PRISM$ 処理に切り換わった際（時刻 t_1 ）、目標空燃比 K_{CMD} が $ADSM$ 処理中の最もリーン側の値よりもリーン側に変動することがないとともに、排気ガス中の NO_x 排出量が増大することなく、触媒装置8a, 8bによる NO_x 浄化率が良好な状態に保持されていることが分かる。これは、以下の理由による。

【0197】

すなわち、前述したように、本実施形態の空燃比制御では、 $ADSM$ 処理により目標空燃比 K_{CMD} を算出している場合、 O_2 センサ15の出力 V_{out} が目標値 V_{op} よりも大きいとき、すなわち予測値 $PREVO_2 \geq 0$ のときには、非線形ゲイン K_{RDSM} を、 $PREVO_2 < 0$ のときよりも小さい値 K_{RDSML} に設定することで、混合気の空燃比をリーン側に制御する際、 O_2 センサ15の出力 V_{out} が目標値 V_{op} に緩やかに収束するように制御し、それにより、第1触媒装置8a内の触媒の上流側端部が過度にリーン化されるのを回避している

。これに対して、P R I S M処理では、O₂センサ15の出力V o u tが目標値V o pに迅速に収束するように、目標空燃比K C M Dが算出される。

【 0 1 9 8 】

したがって、比較例のように、O₂センサ15の出力V o u tが目標値V o pよりもリッチ側に離れた状態にあるときに、A D S M処理からP R I S M処理に切り換わると、目標空燃比K C M Dが、P R I S M処理により、O₂センサ15の出力V o u tが目標値V o pに迅速に収束するような値、すなわち過度にリーン側の値として算出されることで、第1触媒装置8 a内の触媒の上流側端部が過度にリーン化されてしまい、その結果、N O x浄化率が低下してしまう。

【 0 1 9 9 】

これに対して、本実施形態の制御装置1では、前記ステップ74, 75および図26のステップ192により、予測値P R E V O₂の前回値（前回ループでの算出値）の絶対値が所定値V D S M E N D以下であるとき、すなわちO₂センサ15の出力V o u tが目標値V o pに近づいた状態にあるときに、A D S M処理からP R I S M処理への切り換えが実行されるので、切り換えの前後間における目標空燃比K C M Dの段差（急激な変化）が抑制される。

【 0 2 0 0 】

これに加えて、前記ステップ122において、スライディングモード操作量D K C M D S L Dが所定値S L D H O L Dに設定されることで、A D S M処理からP R I S M処理への切り換え直後の目標空燃比K C M Dが、過度にリーン側の値にならないように設定される。さらに、ステップ123において、適応下限値U S L A Lが、所定の初期値U S L L C R Dに設定されるので、A D S M処理からP R I S M処理への切り換え直後は、ステップ113のリミット値算出処理において、スライディングモード操作量D K C M D S L Dの制限範囲の下限（すなわちリーン側の限界）を規定する非アイドル運転用の下限値U S L A L Fが、この初期値U S L L C R Dに設定され、それ以降はこの値に基づいて算出される。それにより、A D S M処理からP R I S M処理への切り換えの初期において、目標空燃比K C M Dが過度にリーン側に変化しないように制限される。したがって、本実施形態の制御装置1では、比較例と異なり、第1触媒装置8 a内の触媒の上

流側端部が過度にリーン化されるのが回避され、図 2 8 に示すように、触媒装置 8 a, 8 b による NO_x 浄化率が良好な状態に保持される。

【 0 2 0 1 】

以上のように、本実施形態の制御装置 1 によれば、予測値 PREVO₂ の前回値の絶対値が所定値 VDSMEND 以下であるときに、ADSM 処理から PRISM 処理への切り換えが実行されるので、切り換えの前後間における目標空燃比 KCMD の段差を抑制することができる。これに加えて、PRISM 処理中でないときに、スライディングモード操作量 DKCMDSLD が常に所定値 SLDHOLD に設定され、適応下限値 USLAL が所定の初期値 USLLCRD に常に設定されることで、ADSM 処理から PRISM 処理への切り換え直後、および切り換えの初期において、目標空燃比 KCMD を、過度にリーン側の値にならないように制御できる。その結果、第 1 触媒装置 8 a 内の触媒の上流側端部が過度にリーン化されるのを回避でき、触媒装置 8 a, 8 b による NO_x 浄化率を良好な状態に保持できる。

【 0 2 0 2 】

次に、図 3 0 を参照しながら、第 2 実施形態の制御装置について説明する。この第 2 実施形態の制御装置 1 は、第 1 実施形態の制御装置 1 の DSM コントローラ 2 4 に代えて、SDM コントローラ 2 9 を用いる点のみが異なっている。この SDM コントローラ 2 9 (第 1 の制御入力算出手段、第 1 の空燃比算出手段) は、 $\Sigma \Delta$ 変調アルゴリズムを適用した制御アルゴリズムにより、予測値 PREVO₂ (k) に基づいて、制御入力 ϕ_{op} (k) としての目標空燃比 KCMD (k) を算出するものである。

【 0 2 0 3 】

すなわち、同図に示すように、この SDM コントローラ 2 9 では、反転増幅器 2 9 a により、参照信号 $r(k)$ が、値 -1、参照信号用のゲイン G_d および予測値 PREVO₂ (k) を互いに乗算した信号として生成される。次に、積分器 2 9 b により、参照信号積分値 $\sigma_d r(k)$ が、遅延素子 2 9 c で遅延された参照信号積分値 $\sigma_d r(k-1)$ と参照信号 $r(k)$ との和の信号として生成される。一方、積分器 2 9 d により、SDM 信号積分値 $\sigma_d u_s(k)$ が、遅延素子 2 9 e で遅延さ

れた S D M 信号積分値 $\sigma_d u_s(k-1)$ と、遅延素子 2 9 j で遅延された S D M 信号 $u_s(k-1)$ との和の信号として生成される。そして、差分器 2 9 f により、参照信号積分値 $\sigma_d r(k)$ と S D M 信号積分値 $\sigma_d u_s(k)$ との偏差信号 $\delta(k)$ が生成される。

【 0 2 0 4 】

次いで、量子化器 2 9 g (符号関数) により、S D M 信号 $u_s(k)$ が、この偏差信号 $\delta(k)$ を符号化した値として生成される。そして、増幅器 2 9 h により、増幅 S D M 信号 $u_s''(k)$ が S D M 信号 $u_s(k)$ を所定のゲイン F_d で増幅した値として生成され、次に、加算器 2 9 i により、この増幅 S D M 信号 $u_s''(k)$ に基準値 F L A F B A S E および適応補正項 F L A F A D P を加算した値として、目標空燃比 K C M D (k) が生成される。

【 0 2 0 5 】

以上の S D M コントローラ 2 9 の制御アルゴリズムは、以下の式 (3 7) ~ (4 3) で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot P R E V O 2(k) \quad \dots\dots (3 7)$$

$$\sigma_d r(k) = \sigma_d r(k-1) + r(k) \quad \dots\dots (3 8)$$

$$\sigma_d u_s(k) = \sigma_d u_s(k-1) + u_s(k-1) \quad \dots\dots (3 9)$$

$$\delta(k) = \sigma_d r(k) - \sigma_d u_s(k) \quad \dots\dots (4 0)$$

$$u_s(k) = s g n(\delta(k)) \quad \dots\dots (4 1)$$

$$u_s''(k) = F_d \cdot u_s(k) \quad \dots\dots (4 2)$$

$$K C M D(k) = F L A F B A S E + F L A F A D P + u_s''(k) \quad \dots\dots (4 3)$$

ここで、 F_d はゲインを表す。また、非線形ゲイン G_d の値は、 $P R E V O 2(k) \geq 0$ のときには正の所定値 G_{d1} (例えば値 0.2) に、 $P R E V O 2(k) < 0$ のときには所定値 G_{d1} よりも大きい所定値 G_{d2} (例えば値 2) にそれぞれ設定される。さらに、符号関数 $s g n(\delta(k))$ の値は、 $\delta(k) \geq 0$ のときには $s g n(\delta(k)) = 1$ となり、 $\delta(k) < 0$ のときには $s g n(\delta(k)) = -1$ となる (なお、 $\delta(k) = 0$ のときに、 $s g n(\delta(k)) = 0$ と設定してもよい)。

【 0 2 0 6 】

以上の S D M コントローラ 2 9 の制御アルゴリズムにおける $\Sigma \Delta$ 変調アルゴリ

ズムの特性は、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムと同様に、SDM信号 $u_s(k)$ を、これを制御対象に入力した際、参照信号 $r(k)$ が制御対象の出力に再現されるような値として、生成（算出）できるという点にある。すなわち、SDMコントローラ29は、前述したDSMコントローラ24と同様の制御入力としての目標空燃比 $K_{CMD}(k)$ を生成できるという特性を備えている。したがって、このSDMコントローラ29を用いる本実施形態の制御装置1によれば、第1実施形態の制御装置1と同様の効果を得ることができる。なお、SDMコントローラ29の具体的なプログラムは図示しないが、DSMコントローラ24とほぼ同様に構成される。

【0207】

次に、図31を参照しながら、第3実施形態の制御装置について説明する。この第3実施形態の制御装置1は、第1実施形態の制御装置1のDSMコントローラ24に代えて、DMコントローラ30を用いる点のみが異なっている。このDMコントローラ30（第1の制御入力算出手段、第1の空燃比算出手段）は、 Δ 変調アルゴリズムを適用した制御アルゴリズムにより、予測値 $PREVO2(k)$ に基づいて、制御入力 $\phi_{op}(k)$ としての目標空燃比 $K_{CMD}(k)$ を算出するものである。

【0208】

すなわち、同図に示すように、このDMコントローラ30では、反転増幅器30aにより、参照信号 $r(k)$ が、値-1、参照信号用のゲイン G_d および予測値 $PREVO2(k)$ を互いに乗算した信号として生成される。一方、積分器30bにより、DM信号積分値 $\sigma_d u_d(k)$ が、遅延素子30cで遅延されたDM信号積分値 $\sigma_d u_d(k-1)$ と、遅延素子30hで遅延されたDM信号 $u_d(k-1)$ との和の信号として生成される。そして、差分器30dにより、参照信号 $r(k)$ とDM信号積分値 $\sigma_d u_d(k)$ との偏差信号 $\delta(k)$ が生成される。

【0209】

次いで、量子化器30e（符号関数）により、DM信号 $u_d(k)$ が、この偏差信号 $\delta(k)$ を符号化した値として生成される。そして、増幅器30fにより、増幅DM信号 $u_d''(k)$ がDM信号 $u_d(k)$ を所定のゲイン F_d で増幅した値として

生成され、次に、加算器 3 0 g により、この増幅 DM 信号 $u_d''(k)$ を所定の基準値 FLAFBASE に加算した値として、目標空燃比 KCMD (k) が生成される。

【 0 2 1 0 】

以上の DM コントローラ 3 0 の制御アルゴリズムは、以下の式 (4 4) ~ (4 9) で表される。

$$r(k) = -1 \cdot G_d \cdot PREVO2(k) \quad \dots\dots (44)$$

$$\sigma_d u_d(k) = \sigma_d u_d(k-1) + u_d(k-1) \quad \dots\dots (45)$$

$$\delta(k) = r(k) - \sigma_d u(k) \quad \dots\dots (46)$$

$$u_d(k) = \text{sgn}(\delta(k)) \quad \dots\dots (47)$$

$$u_d''(k) = F_d \cdot u_d(k) \quad \dots\dots (48)$$

$$KCMD(k) = FLAFBASE + FLAFADP + u_d''(k) \quad \dots\dots (49)$$

ここで、 F_d はゲインを表す。また、非線形ゲイン G_d の値は、 $PREVO2(k) \geq 0$ のときには正の所定値 G_{d1} (例えば値 0.2) に、 $PREVO2(k) < 0$ のときには所定値 G_{d1} よりも大きい所定値 G_{d2} (例えば値 2) にそれぞれ設定される。さらに、符号関数 $\text{sgn}(\delta(k))$ の値は、 $\delta(k) \geq 0$ のときには $\text{sgn}(\delta(k)) = 1$ となり、 $\delta(k) < 0$ のときには $\text{sgn}(\delta(k)) = -1$ となる (なお、 $\delta(k) = 0$ のときに、 $\text{sgn}(\delta(k)) = 0$ と設定してもよい)。

【 0 2 1 1 】

以上の DM コントローラ 3 0 の制御アルゴリズムすなわち Δ 変調アルゴリズムの特性は、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma\Delta$ 変調アルゴリズムと同様に、DM 信号 $u_d(k)$ を制御対象に入力した際、参照信号 $r(k)$ が制御対象の出力に再現されるような値として、DM 信号 $u_d(k)$ を生成 (算出) できるという点にある。すなわち、DM コントローラ 3 0 は、前述した DSM コントローラ 2 4 および S DM コントローラ 2 9 と同様の制御入力としての目標空燃比 KCMD (k) を生成できるという特性を備えている。したがって、この DM コントローラ 3 0 を用いる本実施形態の制御装置 1 によれば、第 1 実施形態の制御装置 1 と同様の効果を得ることができる。なお、DM コントローラ 3 0 の具体的なプログラムは図示しないが、DSM コントローラ 2 4 とほぼ同様に構成される。

【 0 2 1 2 】

なお、各実施形態は、本発明の制御装置を車両用の内燃機関 3 の空燃比を制御するものとして構成した例であるが、本発明はこれに限らず、他の任意の制御対象を制御する制御装置に広く適用可能であることは言うまでもない。例えば、船舶用の内燃機関の空燃比を制御するものとして構成してもよく、他の産業機器を制御するものとして構成してもよい。また、A D S M コントローラ 2 0 および P R I S M コントローラ 2 1 を、実施形態のプログラムに代えて、電気回路により構成してもよい。

【 0 2 1 3 】

【発明の効果】

以上のように、本発明の制御装置によれば、 Δ 変調アルゴリズム、 $\Delta \Sigma$ 変調アルゴリズムおよび $\Sigma \Delta$ 変調アルゴリズムのいずれか 1 つに基づく制御処理と、応答指定型制御アルゴリズムに基づく制御処理とに切り換えて、制御対象の出力を目標値に収束させるように制御する場合において、2 つの制御処理の切り換えの前後間における制御入力 of 段差を解消でき、それにより、切り換えの際の制御対象の出力の急激な変化を回避できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態に係る制御装置およびこれを適用した内燃機関の概略構成を示す図である。

【図 2】

劣化状態および未劣化状態の第 1 触媒装置を用いた場合において、L A F センサの出力 K A C T に対する、両第 1 触媒装置の H C および N O x の浄化率と、O₂ センサ 1 5 の出力 V o u t とをそれぞれ測定した結果の一例を示す図である。

【図 3】

制御装置の A D S M コントローラおよび P R I S M コントローラの構成を示すブロック図である。

【図 4】

状態予測器の予測アルゴリズムの数式 of 一例を示す図である。

【図 5】

オンボード同定器の同定アルゴリズムの数式の一例を示す図である。

【図 6】

$\Delta \Sigma$ 変調を実行するコントローラおよびこれを備えた制御系の構成を示すブロック図である。

【図 7】

図 6 の制御系の制御結果の一例を示すタイミングチャートである。

【図 8】

A D S Mコントローラによる適応予測型 $\Delta \Sigma$ 変調制御の原理を説明するためのタイミングチャートである。

【図 9】

A D S MコントローラのうちのD S Mコントローラの構成を示すブロック図である。

【図 1 0】

スライディングモード制御アルゴリズムの数式を示す図である。

【図 1 1】

P R I S Mコントローラのスライディングモード制御アルゴリズムの数式を示す図である。

【図 1 2】

内燃機関の燃料噴射制御処理を示すフローチャートである。

【図 1 3】

適応空燃比制御処理を示すフローチャートである。

【図 1 4】

図 1 3 の続きを示すフローチャートである。

【図 1 5】

図 1 3 のステップ 2 1 における発進判定処理を示すフローチャートである。

【図 1 6】

図 1 3 のステップ 2 5 における各種パラメータの算出処理を示すフローチャートである。

【図 1 7】

図 1 3 のステップ 2 6 における A D S M モードフラグ F _ D S M M O D E の設定処理を示すフローチャートである。

【図 1 8】

図 1 3 のステップ 3 2 におけるオンボード同定器の演算処理を示すフローチャートである。

【図 1 9】

図 1 4 のステップ 3 5 の操作量 U S L の算出処理を示すフローチャートである。

【図 2 0】

図 1 9 のステップ 9 1 の予測切換関数 σ P R E の積算値算出処理を示すフローチャートである。

【図 2 1】

図 1 4 のステップ 3 8 のスライディングモード操作量 D K C M D S L D の算出処理を示すフローチャートである。

【図 2 2】

図 2 1 の続きを示すフローチャートである。

【図 2 3】

図 2 1 のステップ 1 1 3 のリミット値算出処理を示すフローチャートである。

【図 2 4】

図 2 3 のステップ 1 4 0 における適応上下限値のリミット処理値 U S L A L H , U S L A L L の算出処理を示すフローチャートである。

【図 2 5】

図 1 4 のステップ 3 9 の $\Delta \Sigma$ 変調操作量 D K C M D D S M の算出処理を示すフローチャートである。

【図 2 6】

図 1 4 のステップ 4 0 の適応目標空燃比 K C M D S L D の算出処理を示すフローチャートである。

【図 2 7】

図 1 4 のステップ 4 1 の適応補正項 F L A F A D P の算出処理を示すフローチャートである。

【図 2 8】

本発明の制御装置により空燃比を制御した場合の動作例を示すタイミングチャートである。

【図 2 9】

空燃比制御の動作の比較例を示すタイミングチャートである。

【図 3 0】

第 2 実施形態に係る制御装置の S D M コントローラの構成を示すブロック図である。

【図 3 1】

第 3 実施形態に係る制御装置の D M コントローラの構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 1 制御装置
- 2 E C U （偏差算出手段、第 1 の制御入力算出手段、第 2 の制御入力算出手段、検出手段、選択手段、切換手段、制限手段、第 1 の空燃比算出手段、第 2 の空燃比算出手段、運転状態パラメータ検出手段、空燃比制御手段）
- 3 内燃機関
- 7 排気管（排気通路）
- 1 1 吸気管内絶対圧センサ（検出手段、運転状態パラメータ検出手段）
- 1 3 クランク角センサ（検出手段、運転状態パラメータ検出手段）
- 1 5 酸素濃度センサ（空燃比センサ）
- 2 2 状態予測器（偏差算出手段）
- 2 4 D S M コントローラ（第 1 の制御入力算出手段、第 1 の空燃比算出手段）
- 2 5 スライディングモードコントローラ（第 2 の制御入力算出手段、第 2 の空燃比算出手段）

2 9 S D M コントローラ（第 1 の制御入力算出手段、第 1 の空燃比算出手段）

3 0 D M コントローラ（第 1 の制御入力算出手段、第 1 の空燃比算出手段）

V o u t 酸素濃度センサの出力（制御対象の出力）

V o p 目標値

P R E V O 2 出力偏差の予測値（偏差）

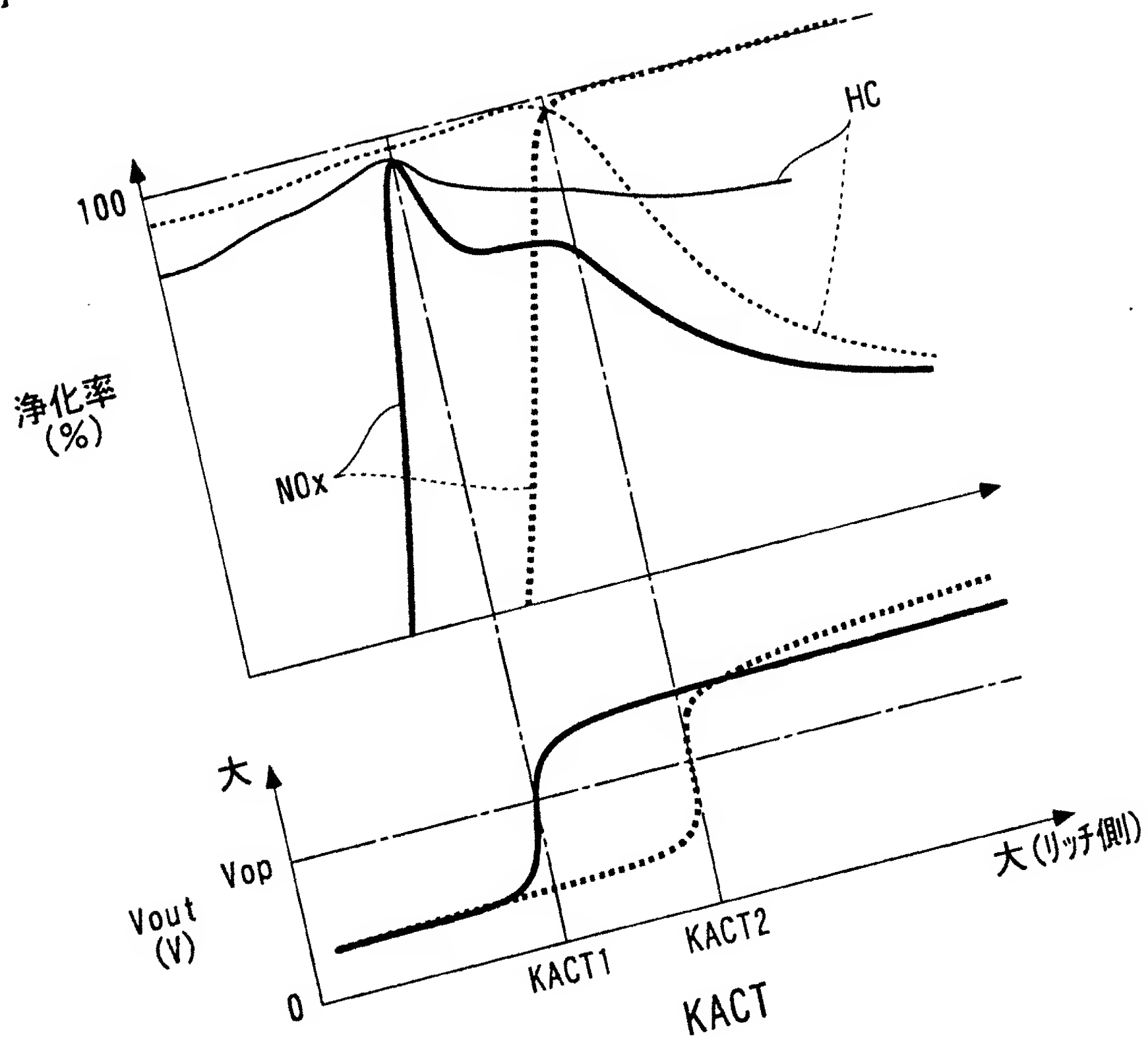
K C M D 目標空燃比（制御入力）

V D S M E N D 所定値（所定の範囲を規定する値）

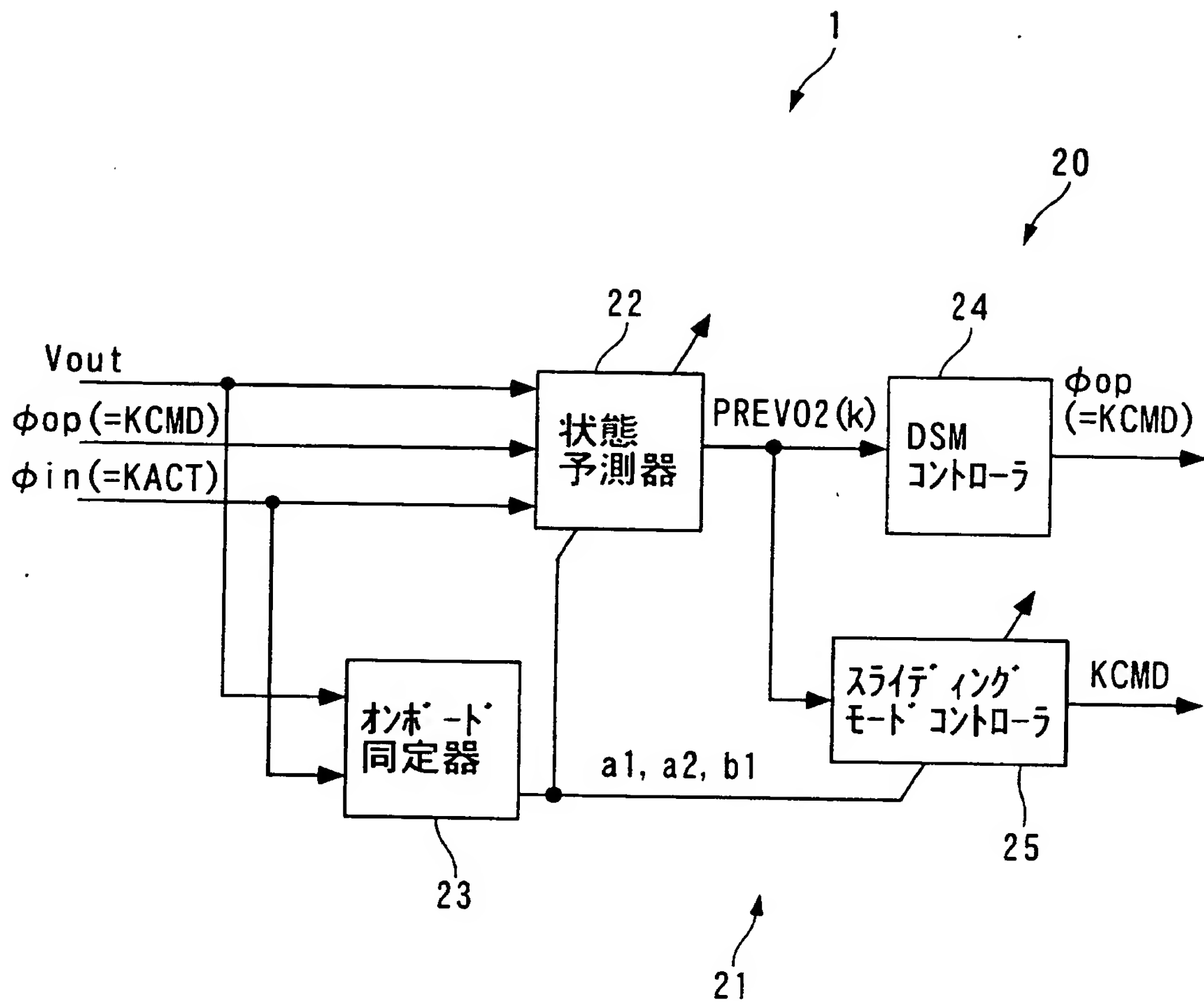
D K C M D S L D スライディングモード操作量（制御入力の一成分）

U S L A L F 非アイドル運転用の下限値（スライディングモード操作量 D K C M D S L D の制限範囲の下限を規定する値）

【図2】



【図 3】



【図 4】

$$A = \begin{bmatrix} a1 & a2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} b1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots\dots (5)$$

$$PREV02(k) = \alpha 1 \cdot V02(k) + \alpha 2 \cdot V02(k-1) + \sum_{i=1}^{dt} \beta i \cdot DKCMD(k-i) \quad \dots\dots (6)$$

ここで、 $\alpha 1$: A^{dt} の 1 行 1 列要素
 $\alpha 2$: A^{dt} の 1 行 2 列要素
 βi : $A^{i-1}B$ の 1 行要素

$$PREV02(k) = \alpha 1 \cdot V02(k) + \alpha 2 \cdot V02(k-1) + \sum_{i=1}^{d'-1} \beta i \cdot DKCMD(k-i) + \sum_{j=d}^{dt} \beta j \cdot DKACT(k-j) \quad \dots\dots (7)$$

ここで、 βj : $A^{j-1}B$ の 1 行要素

【図 5】

$$\theta(k) = \theta(k-1) + KP(k) \cdot ide_f(k) \quad \dots\dots (8)$$

$$\theta(k)^T = [a1'(k), a2'(k), b1'(k)] \quad \dots\dots (9)$$

$$ide_f(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ide(i) \quad \dots\dots (10)$$

$$ide(k) = V02(k) - V02HAT(k) \quad \dots\dots (11)$$

$$V02HAT(k) = \theta(k-1)^T \zeta(k) \quad \dots\dots (12)$$

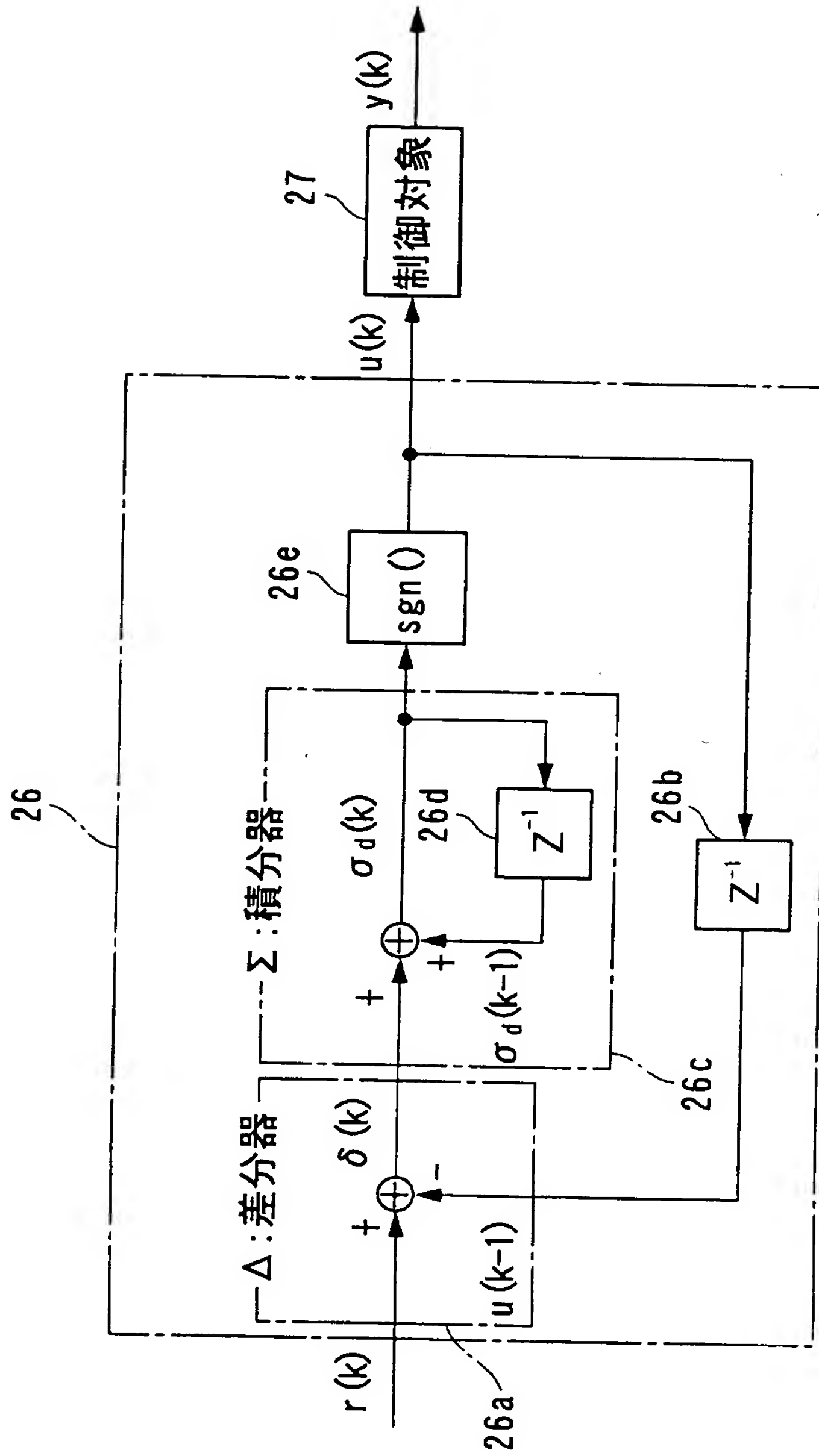
$$\zeta(k)^T = [V02(k-1), V02(k-2), DKACT(k-d-dd)] \quad \dots\dots (13)$$

$$KP(k) = \frac{P(k) \zeta(k)}{1 + \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \quad \dots\dots (14)$$

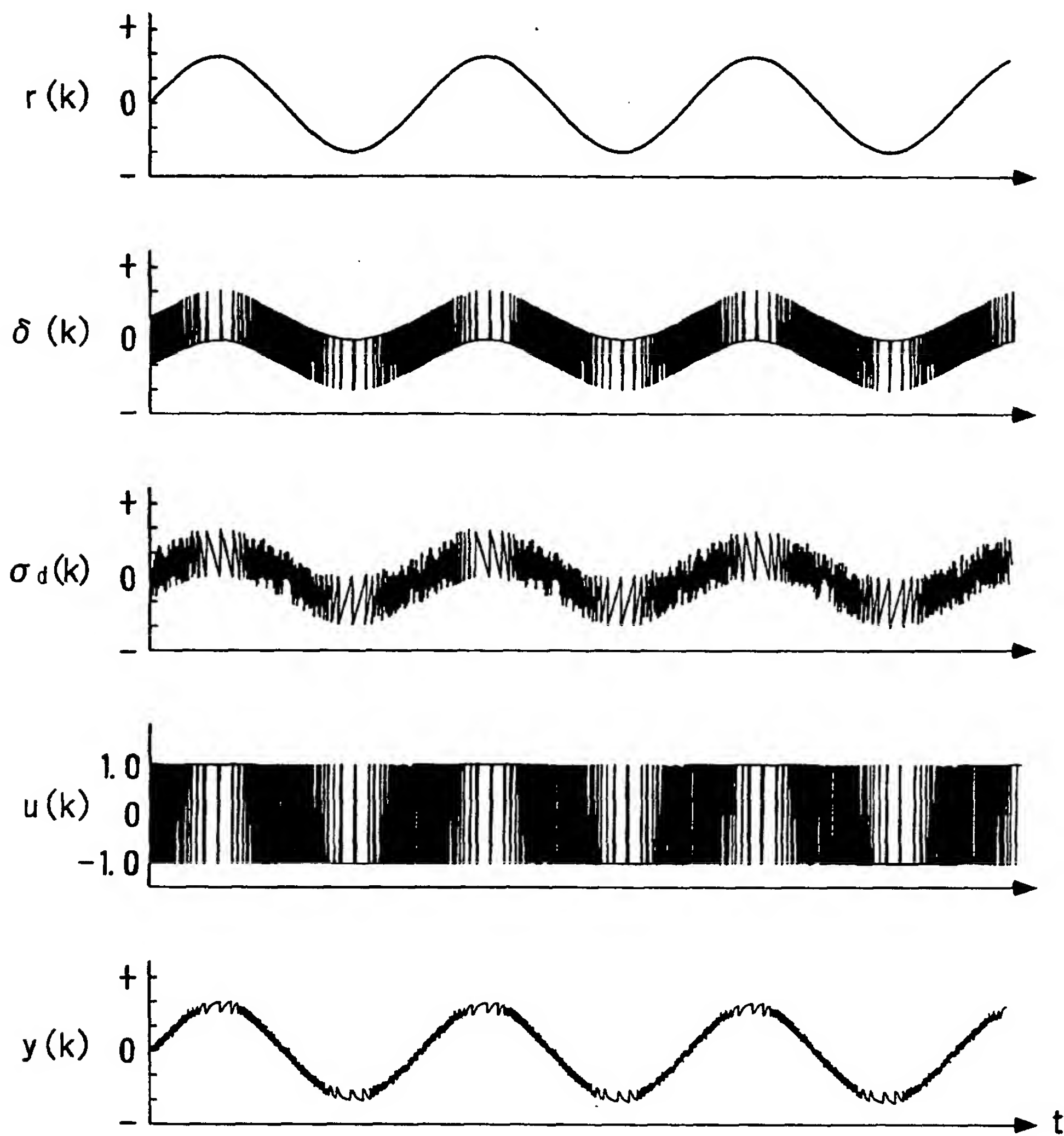
$$P(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left(I - \frac{\lambda_2 P(k) \zeta(k) \zeta(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \zeta(k)^T P(k) \zeta(k)} \right) P(k) \quad \dots\dots (15)$$

ここで、I は単位行列

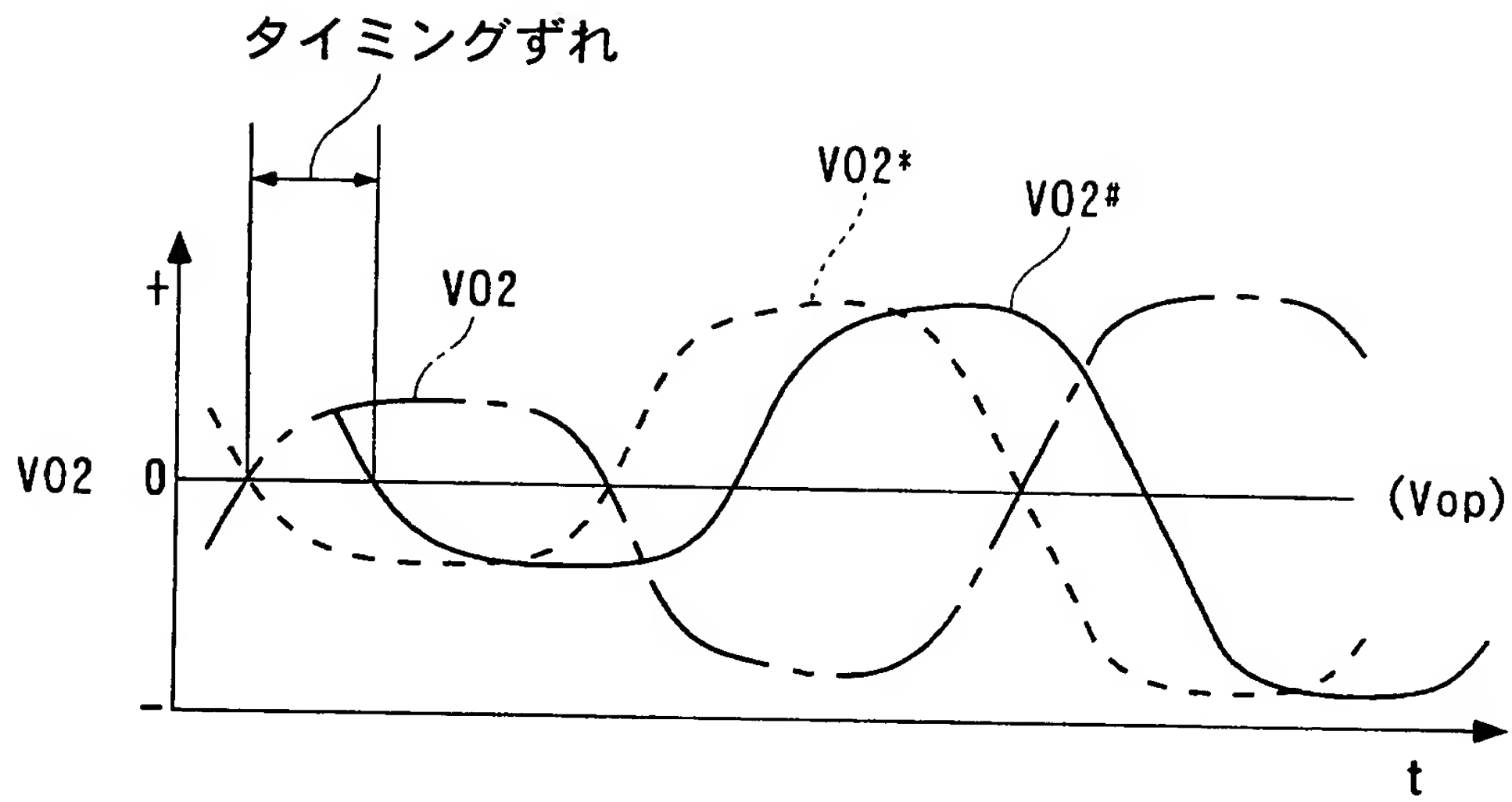
【図 6】



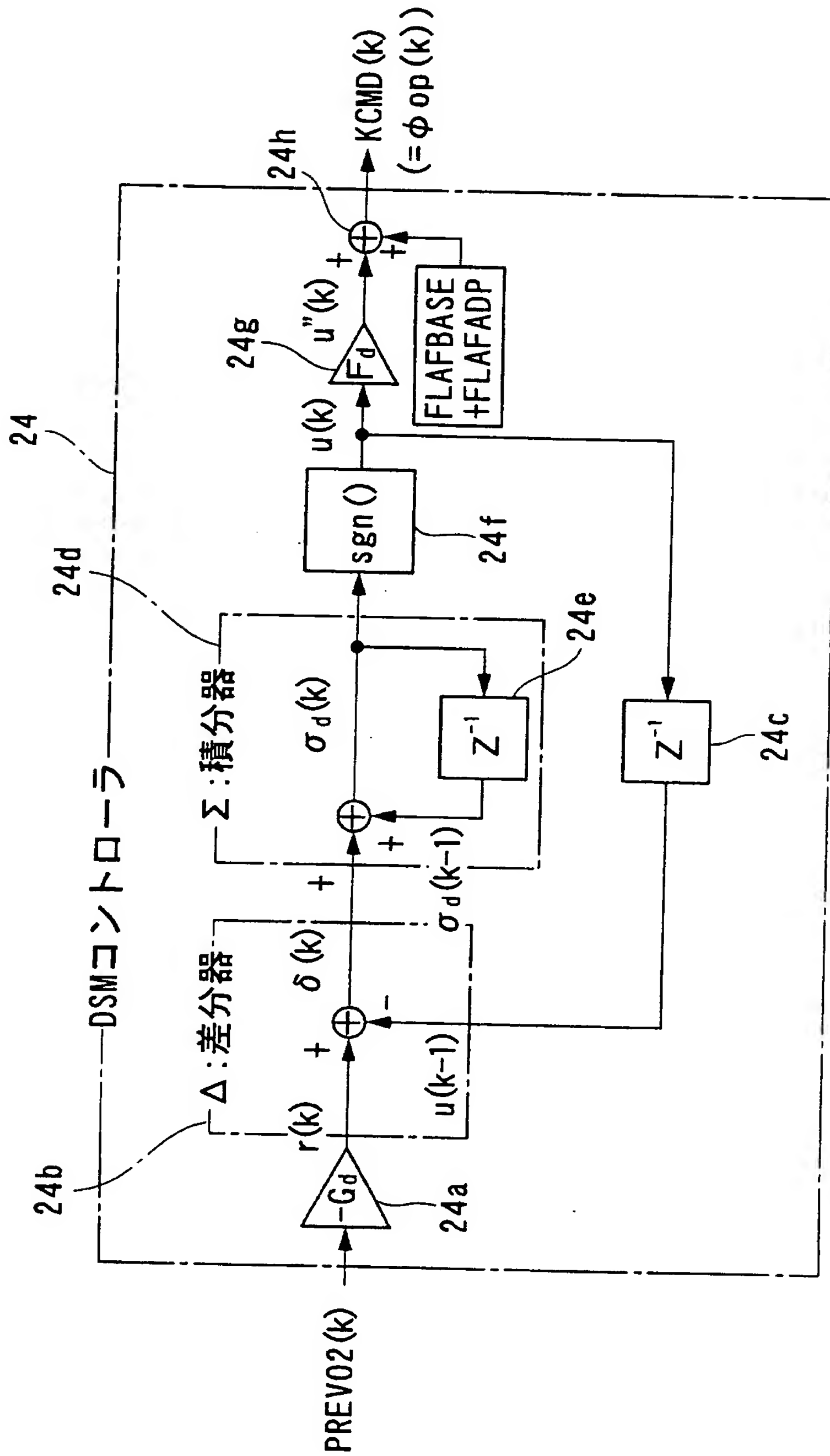
【図 7】



【図 8】



【図9】



【図 1 0】

$$U_{sl}(k) = U_{eq}(k) + U_{rch}(k) + U_{adp}(k) \quad \dots\dots (26)$$

$$U_{eq}(k) = \frac{-1}{S1 \cdot b1} \{ [S1 \cdot (a1 - 1) + S2] \cdot V02(k+dt) \\ + (S1 \cdot a2 - S2) \cdot V02(k+dt-1) \} \quad \dots\dots (27)$$

$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{S1 \cdot b1} \cdot \sigma(k+dt) \quad \dots\dots (28)$$

$$U_{adp}(k) = \frac{-G}{S1 \cdot b1} \sum_{i=0}^{k+dt} \Delta T \cdot \sigma(i) \quad \dots\dots (29)$$

【図 1 1】

$$\sigma \text{ PRE}(k) = S1 \cdot \text{PREV02}(k) + S2 \cdot \text{PREV02}(k-1) \quad \dots\dots (30)$$

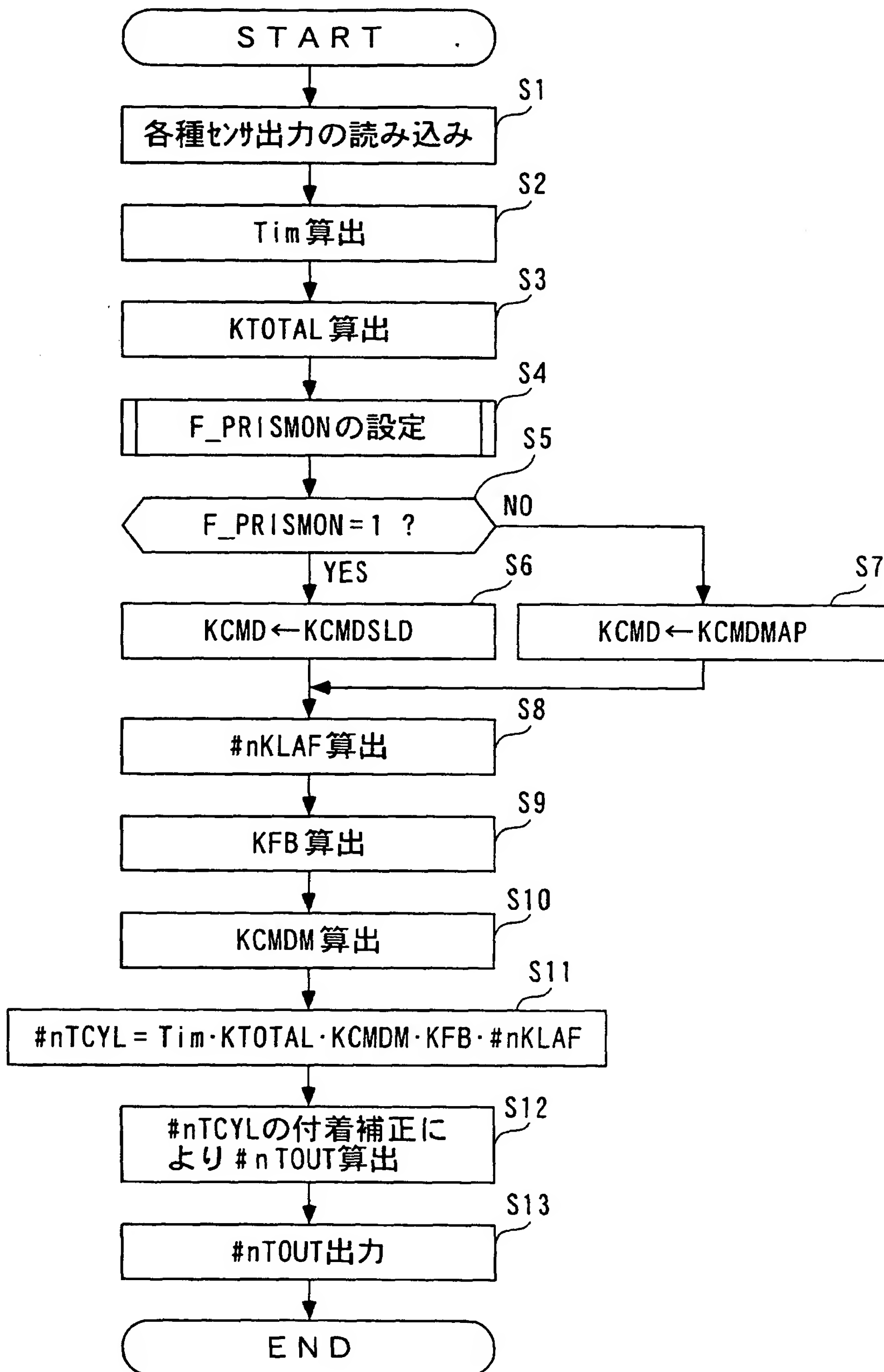
$$UsI(k) = Ueq(k) + Urch(k) + Uadp(k) \quad \dots\dots (31)$$

$$Ueq(k) = \frac{-1}{S1 \cdot b1} \{ [S1 \cdot (a1 - 1) + S2] \cdot \text{PREV02}(k) \\ + (S1 \cdot a2 - S2) \cdot \text{PREV02}(k-1) \} \quad \dots\dots (32)$$

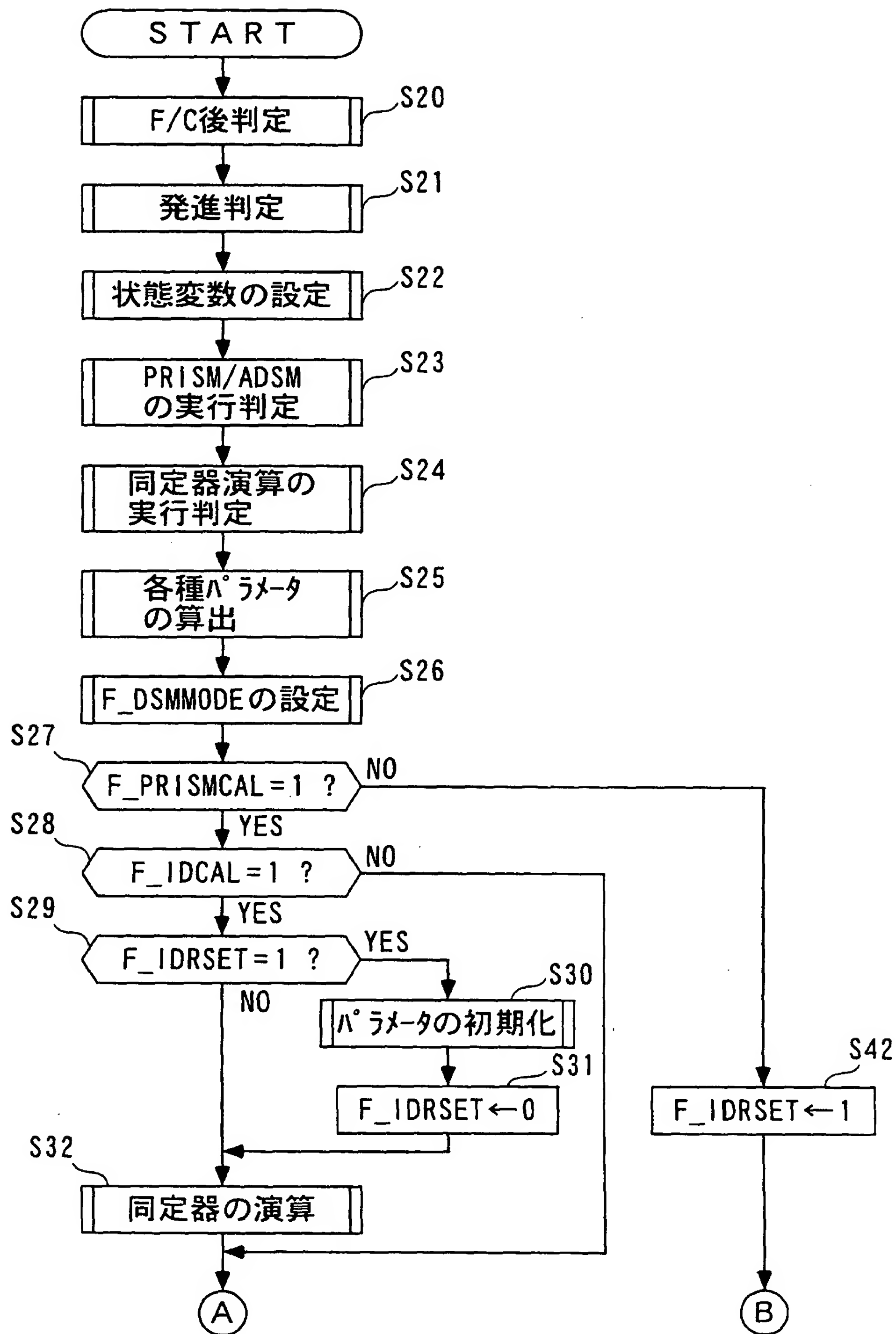
$$Urch(k) = \frac{-F}{S1 \cdot b1} \cdot \sigma \text{ PRE}(k) \quad \dots\dots (33)$$

$$Uadp(k) = \frac{-G}{S1 \cdot b1} \sum_{i=0}^k \Delta T \cdot \sigma \text{ PRE}(i) \quad \dots\dots (34)$$

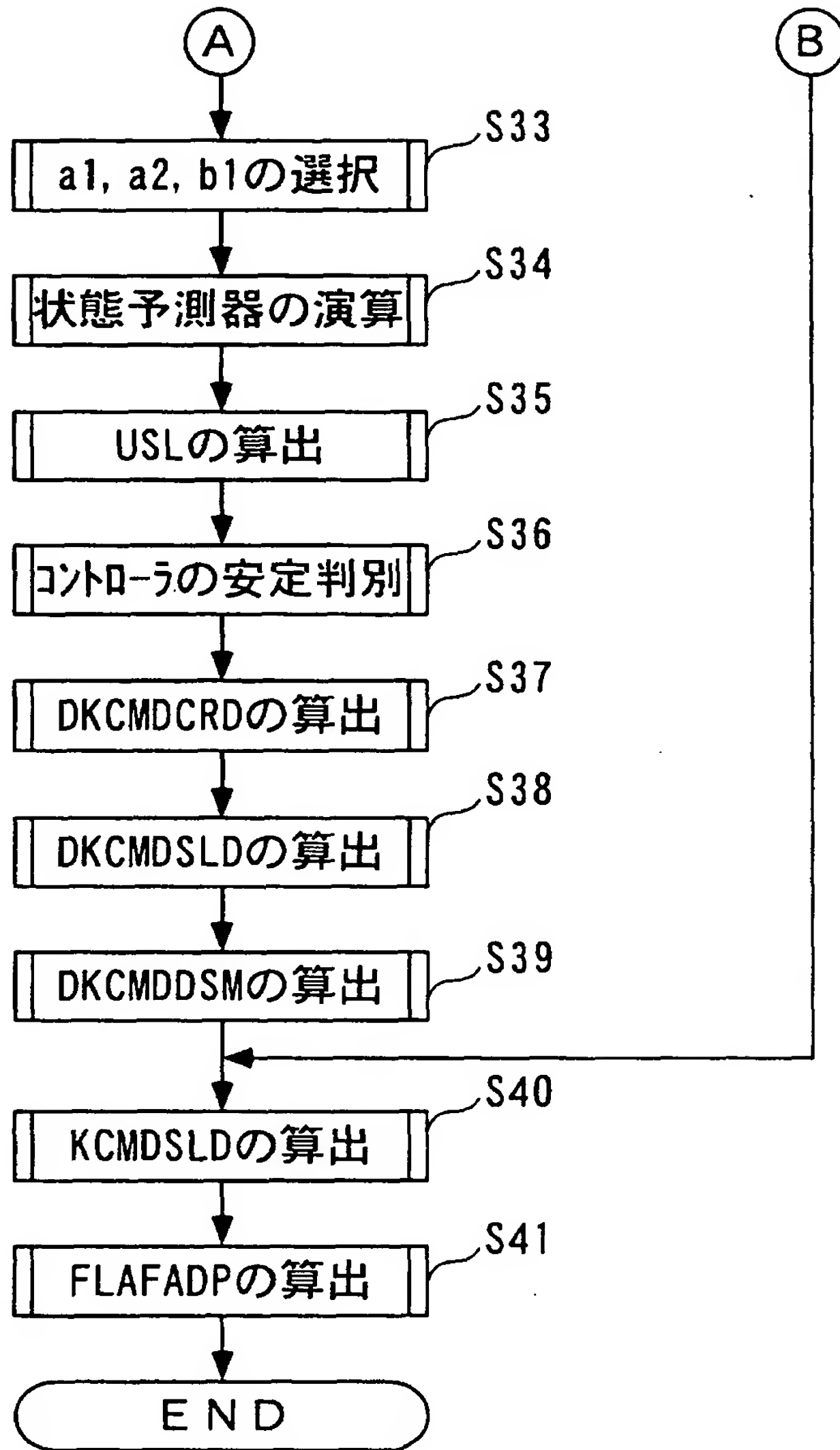
【図 12】



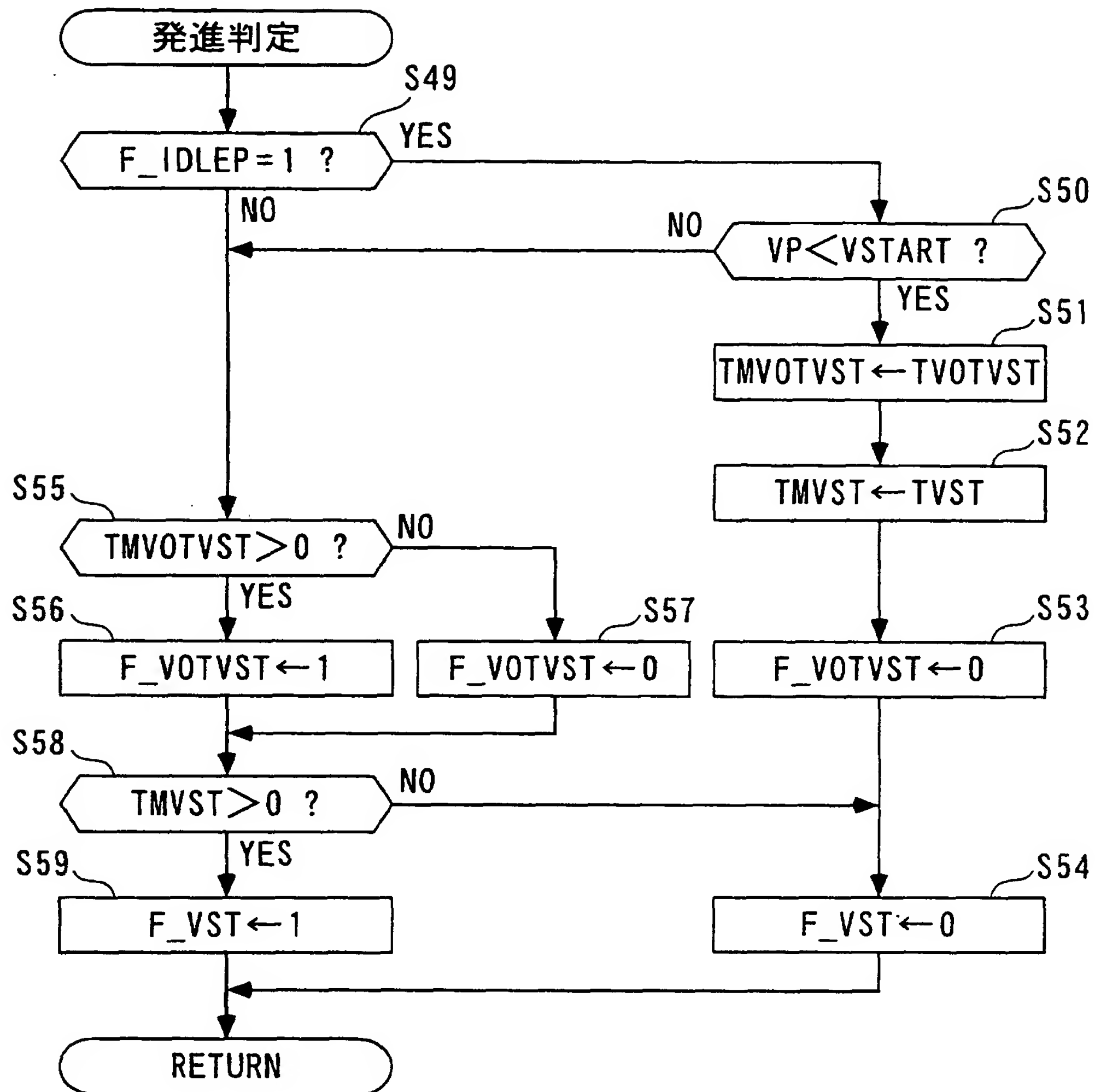
【図 13】



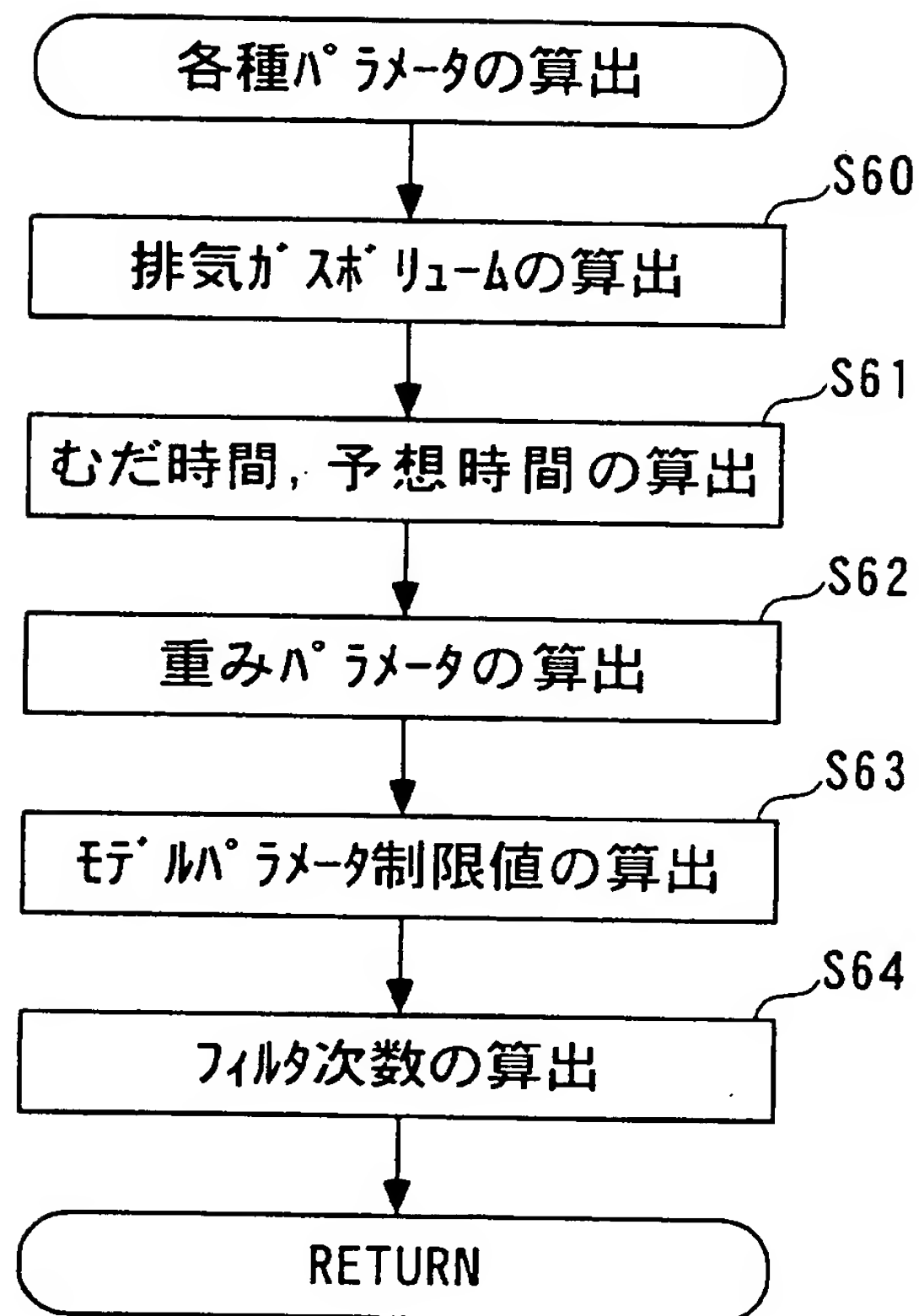
【図 1 4】



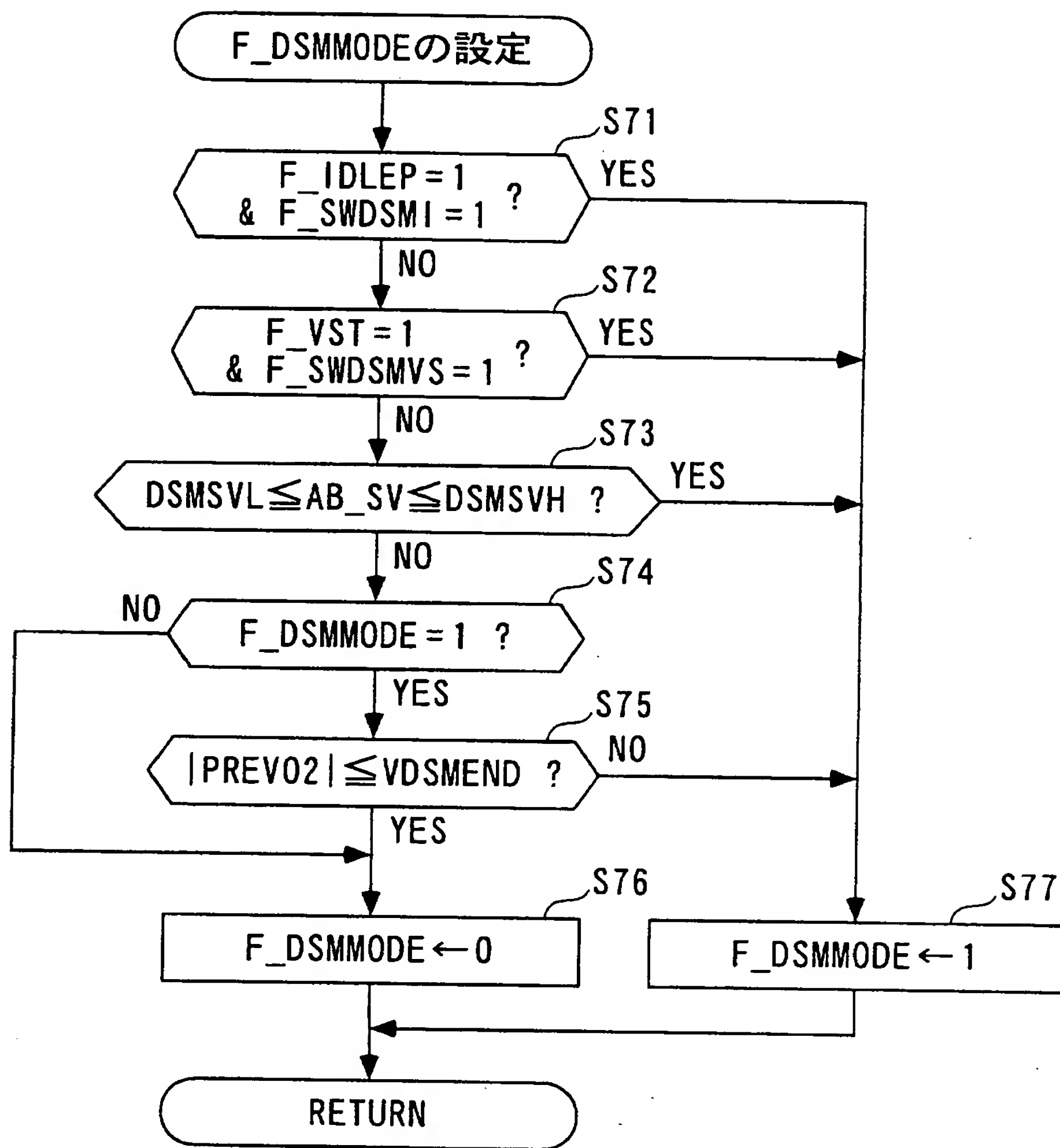
【図15】



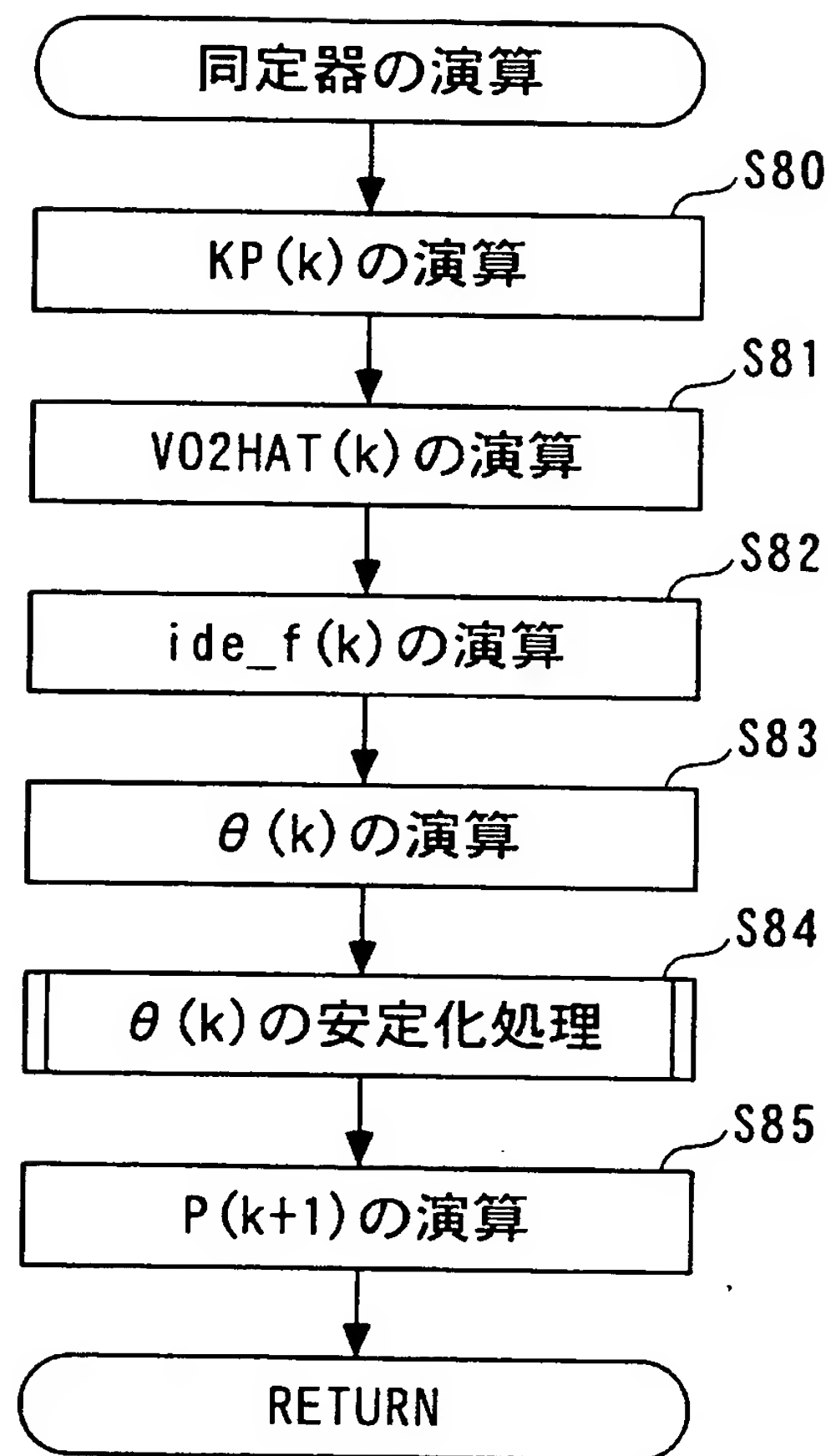
【図 1 6】



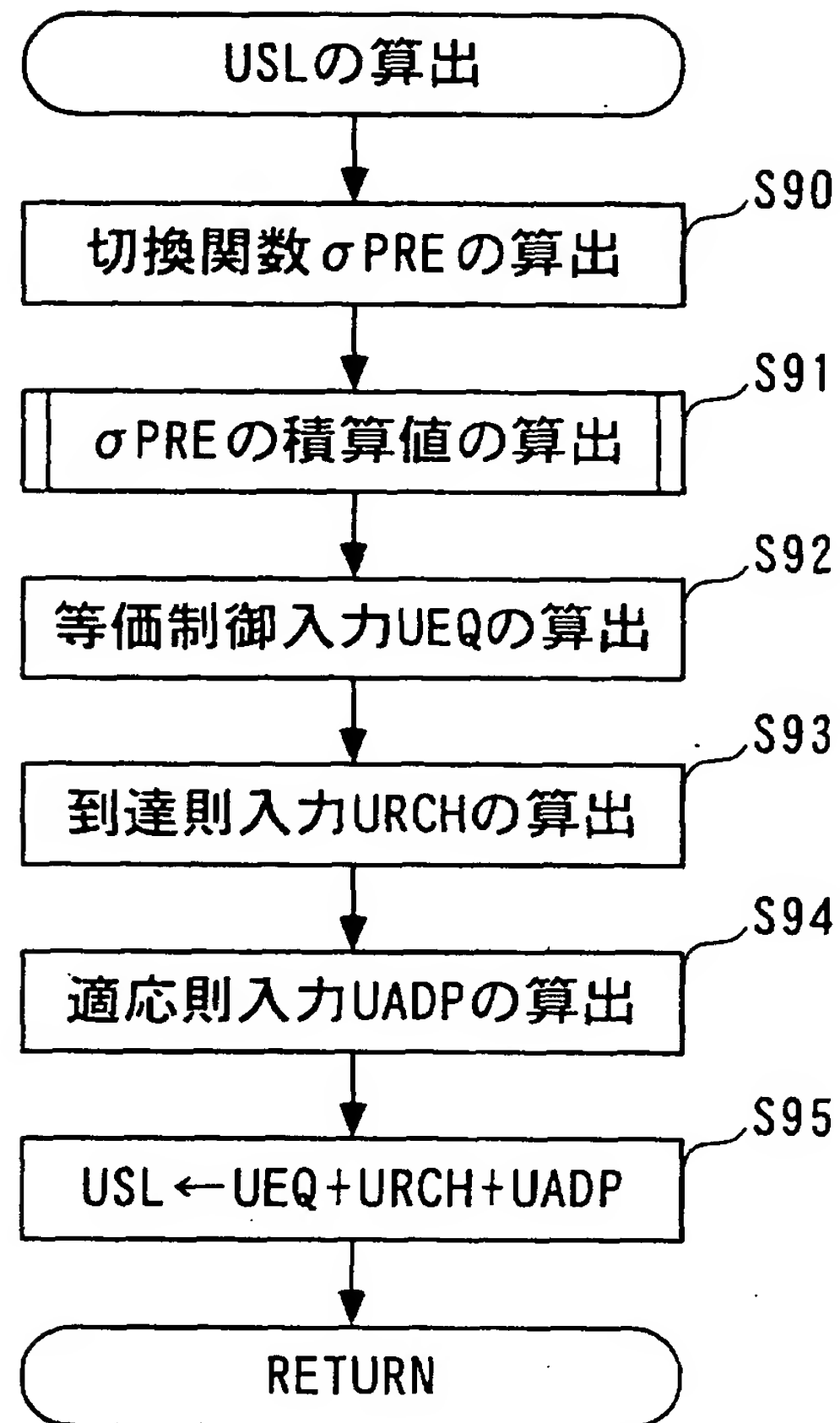
【図 17】



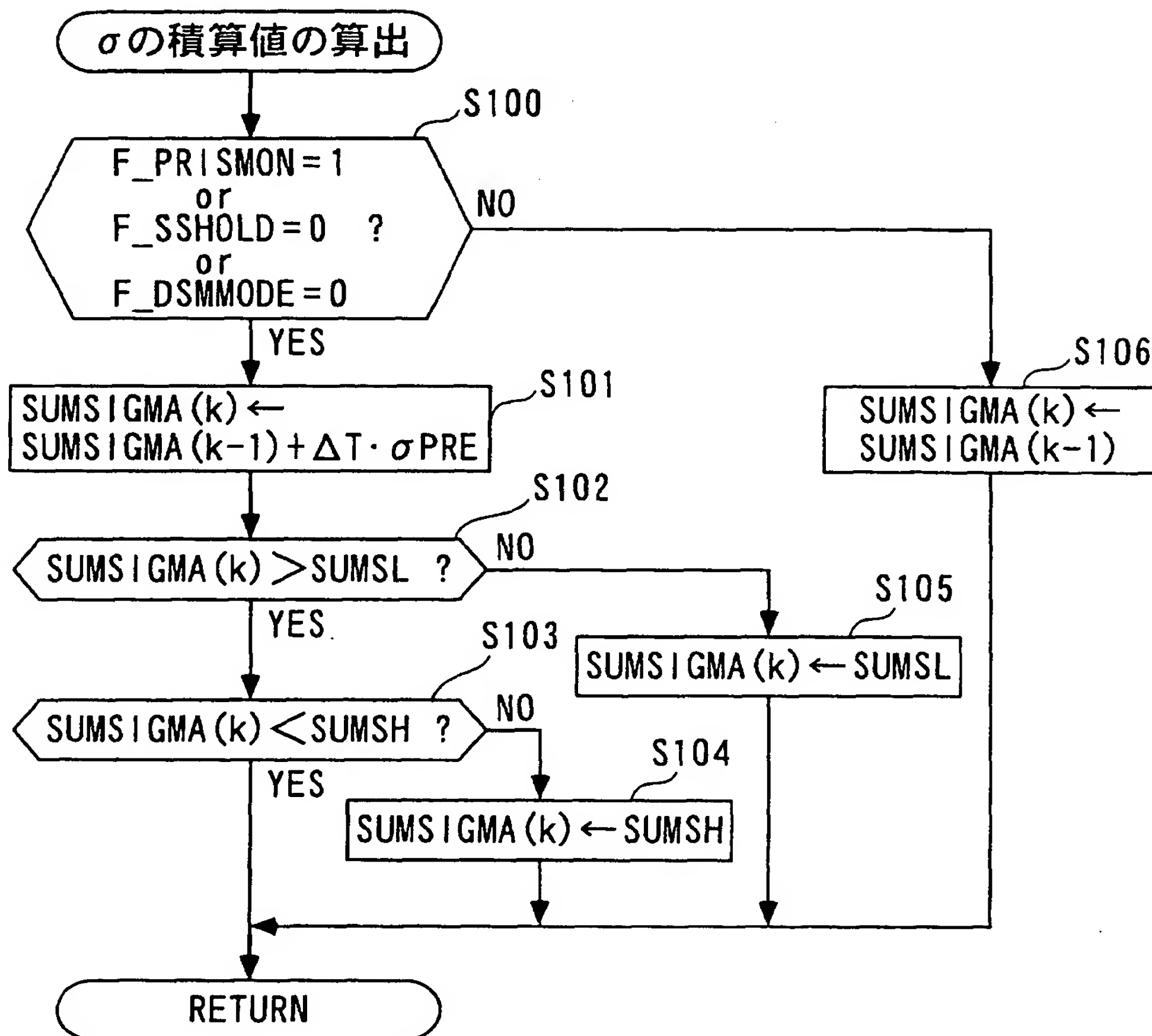
【図 1 8】



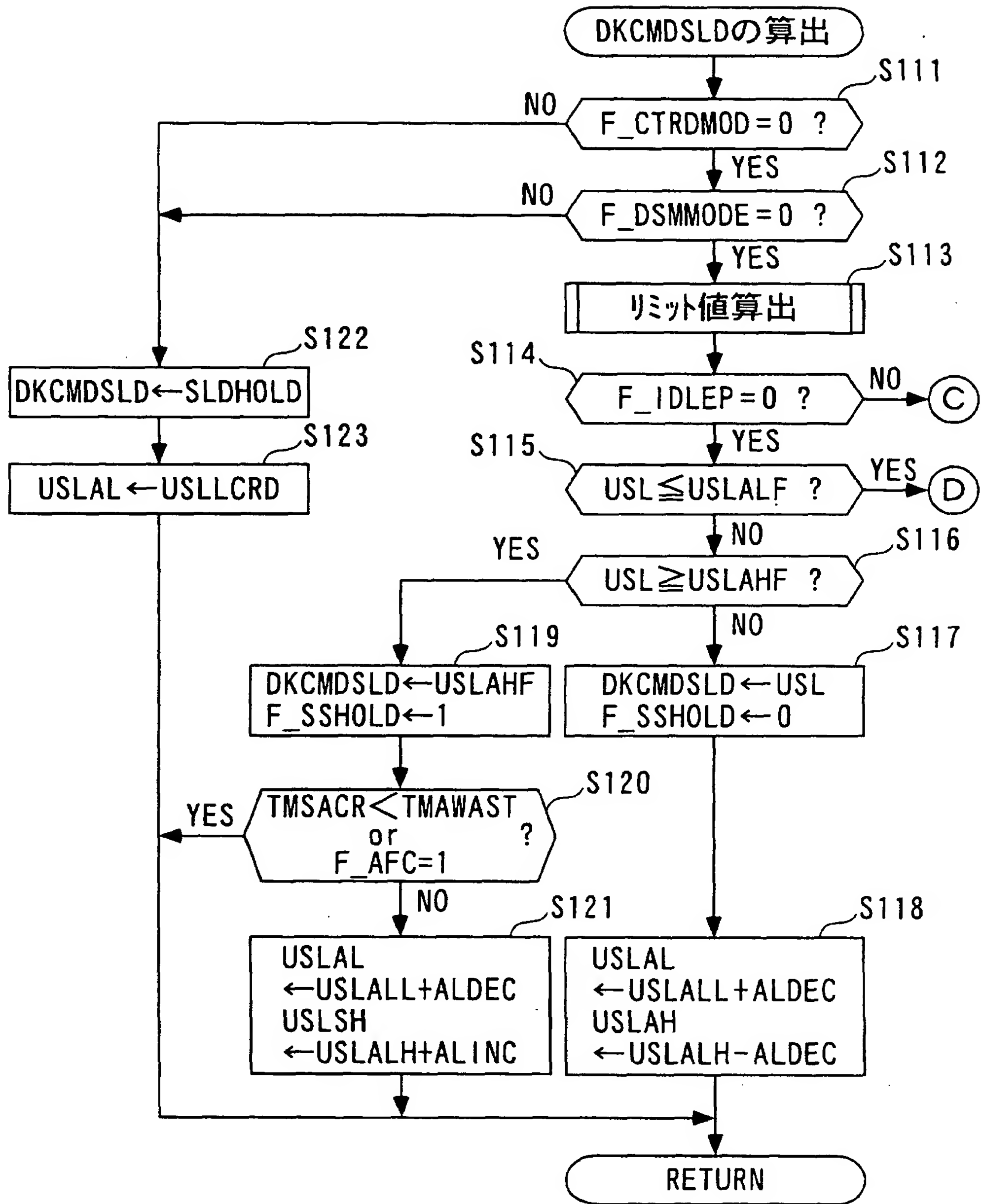
【図 19】



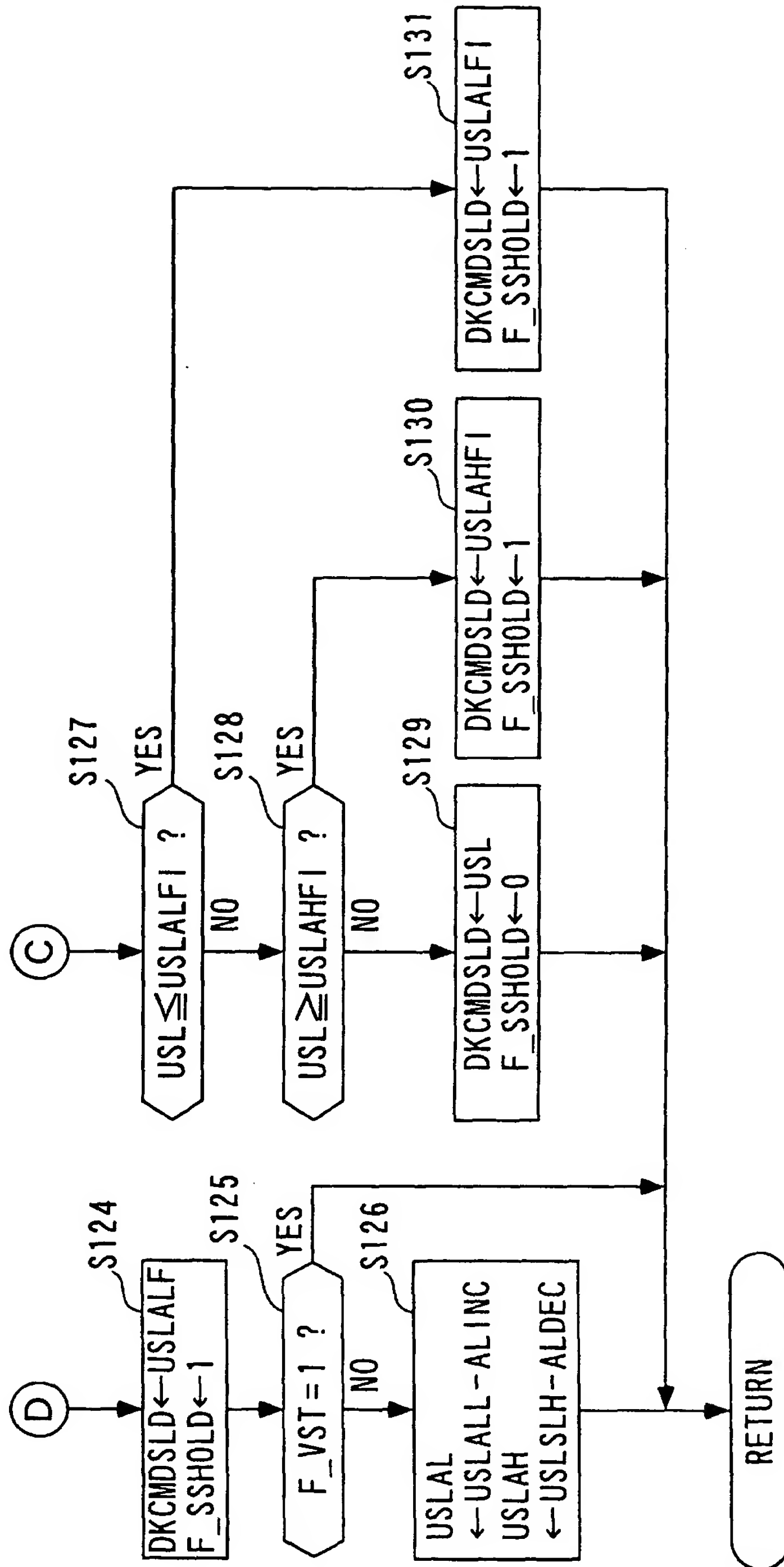
【図 20】



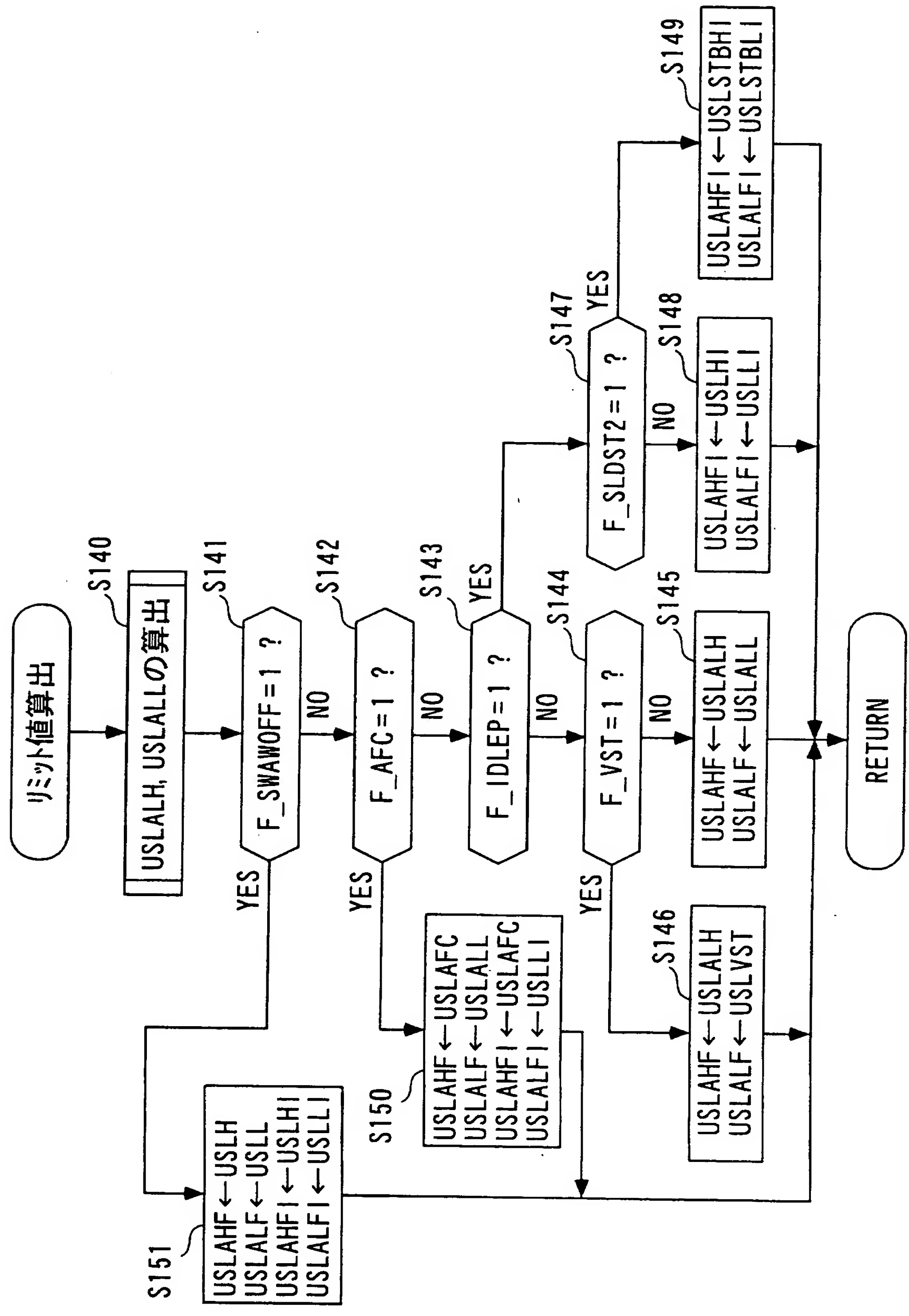
【図 21】



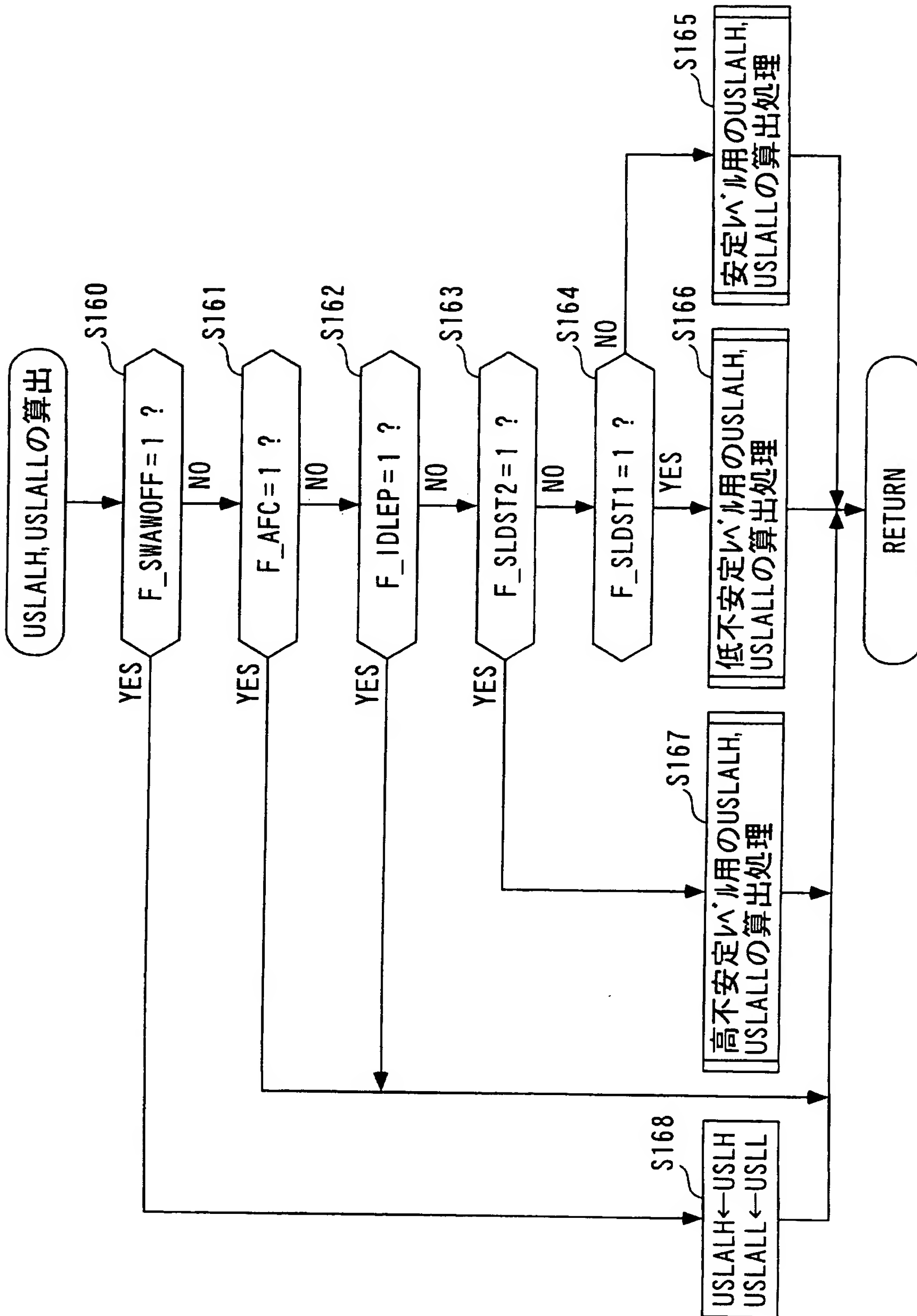
【図 22】



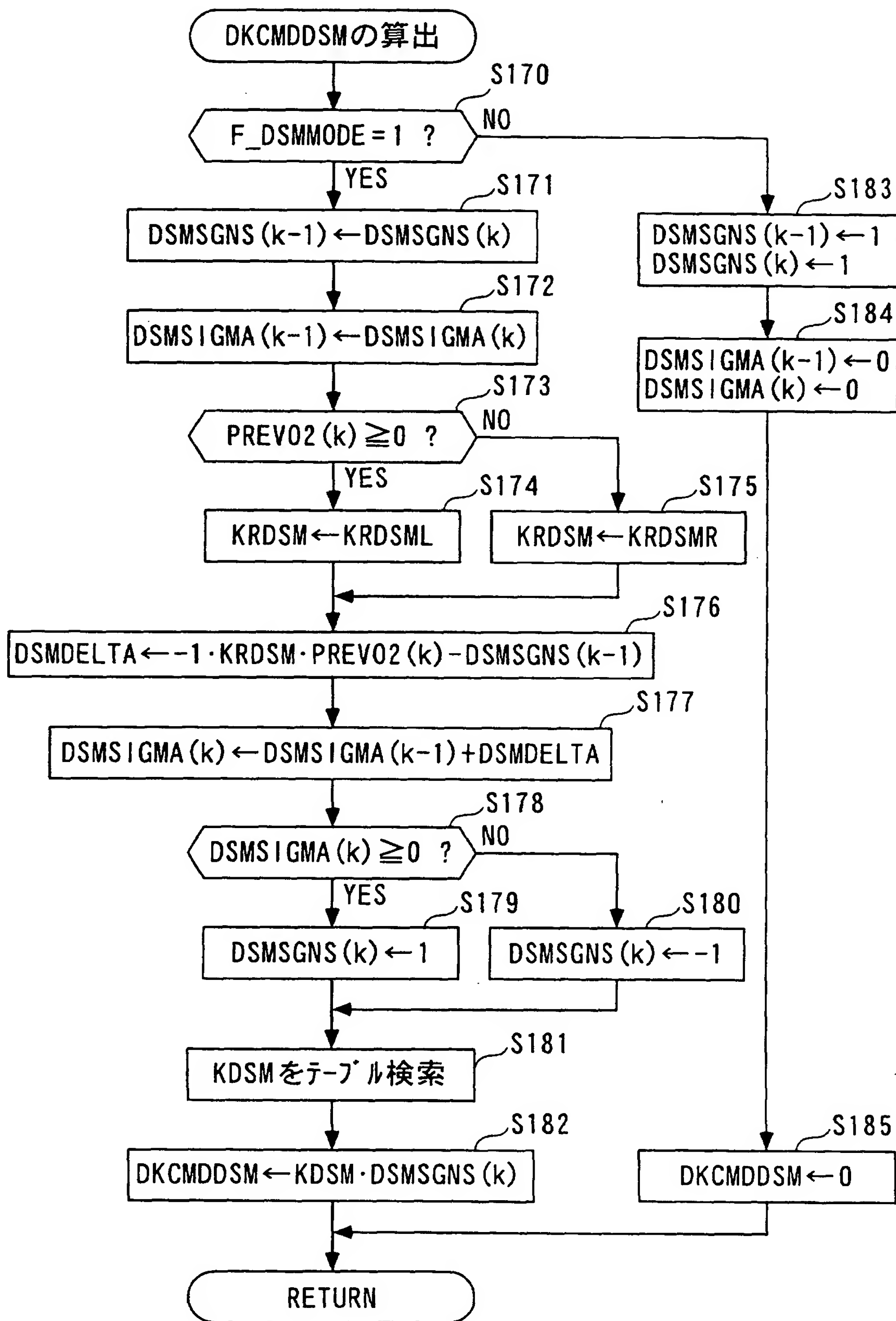
【図 23】



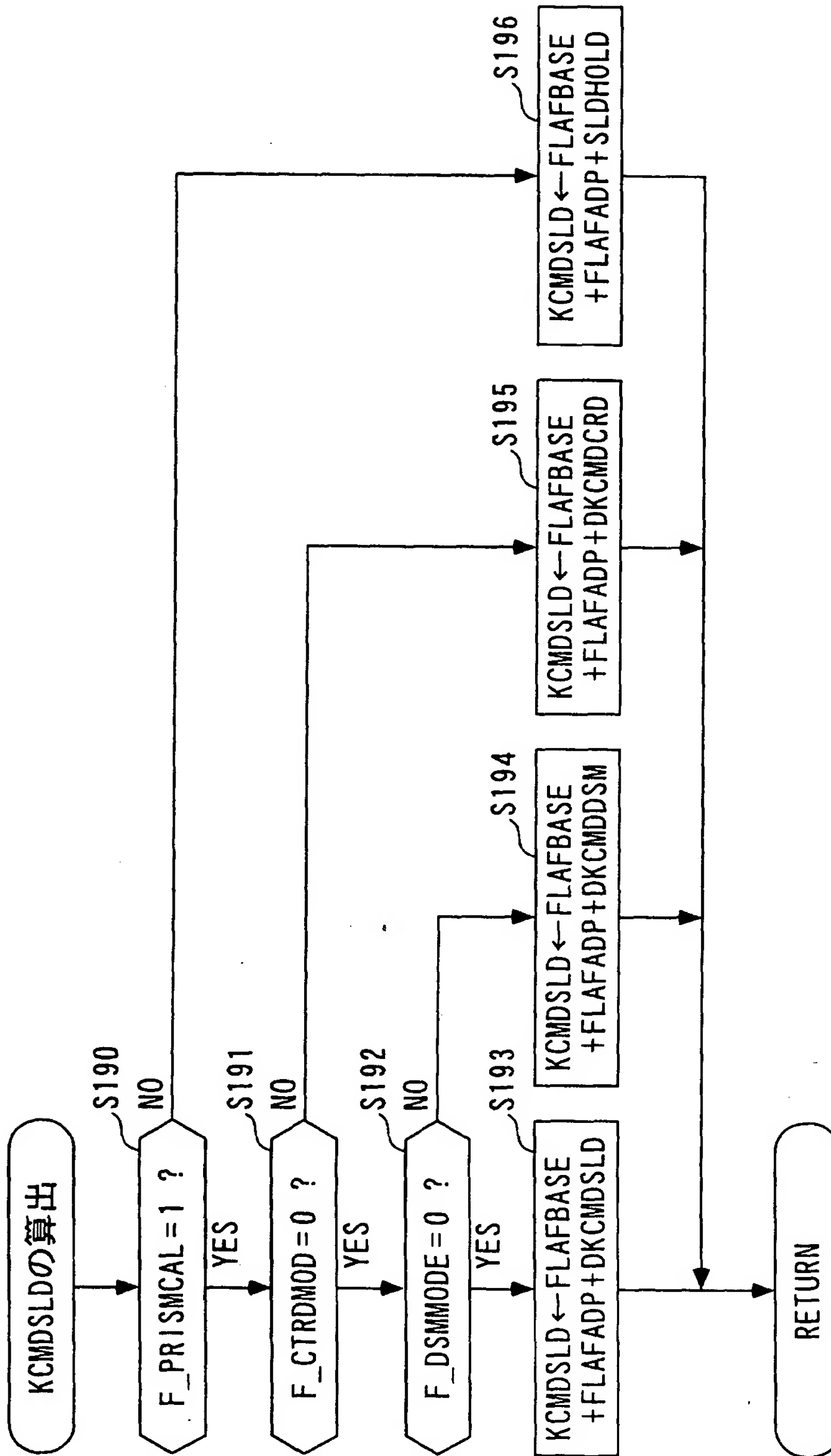
【図 24】



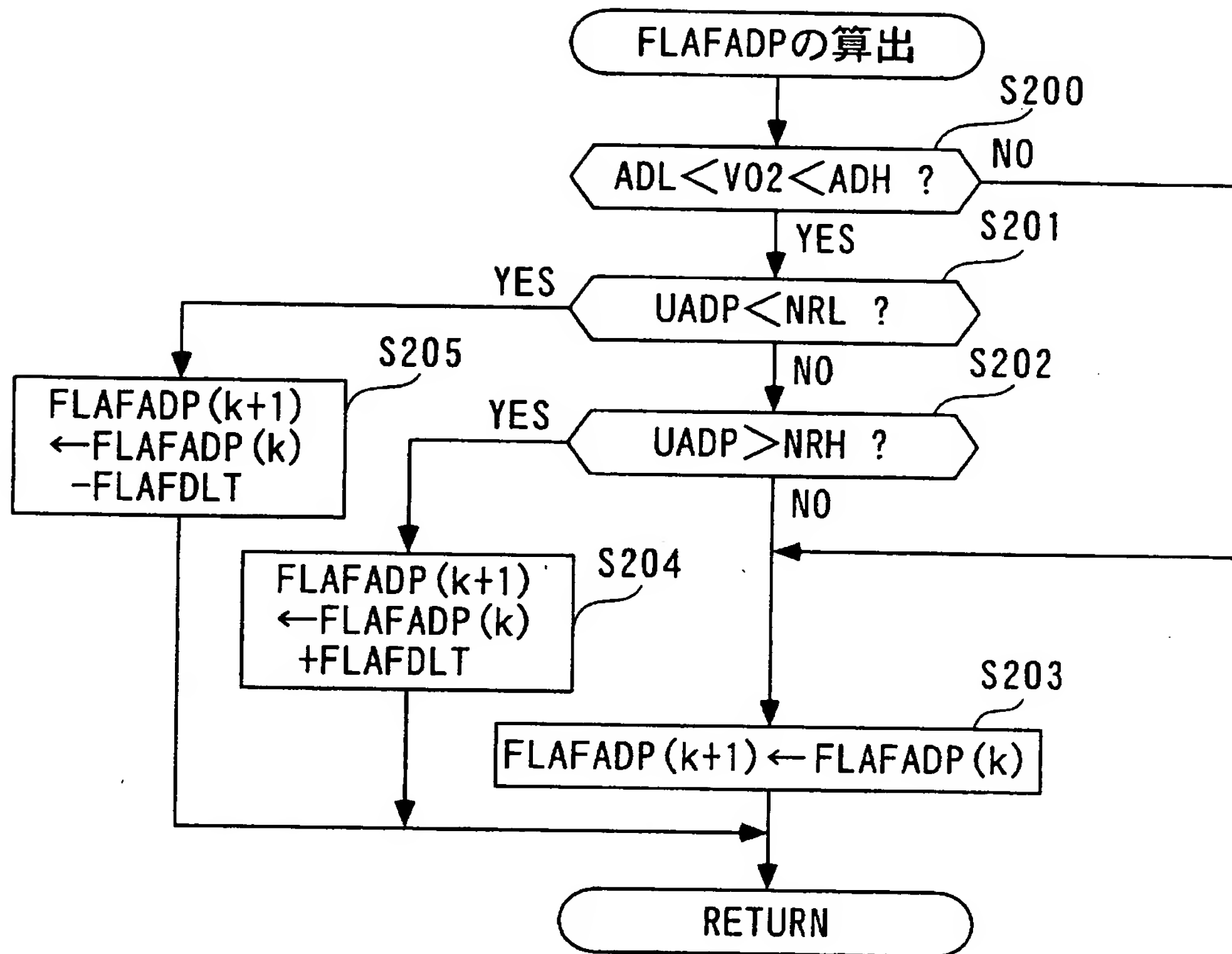
【図 25】



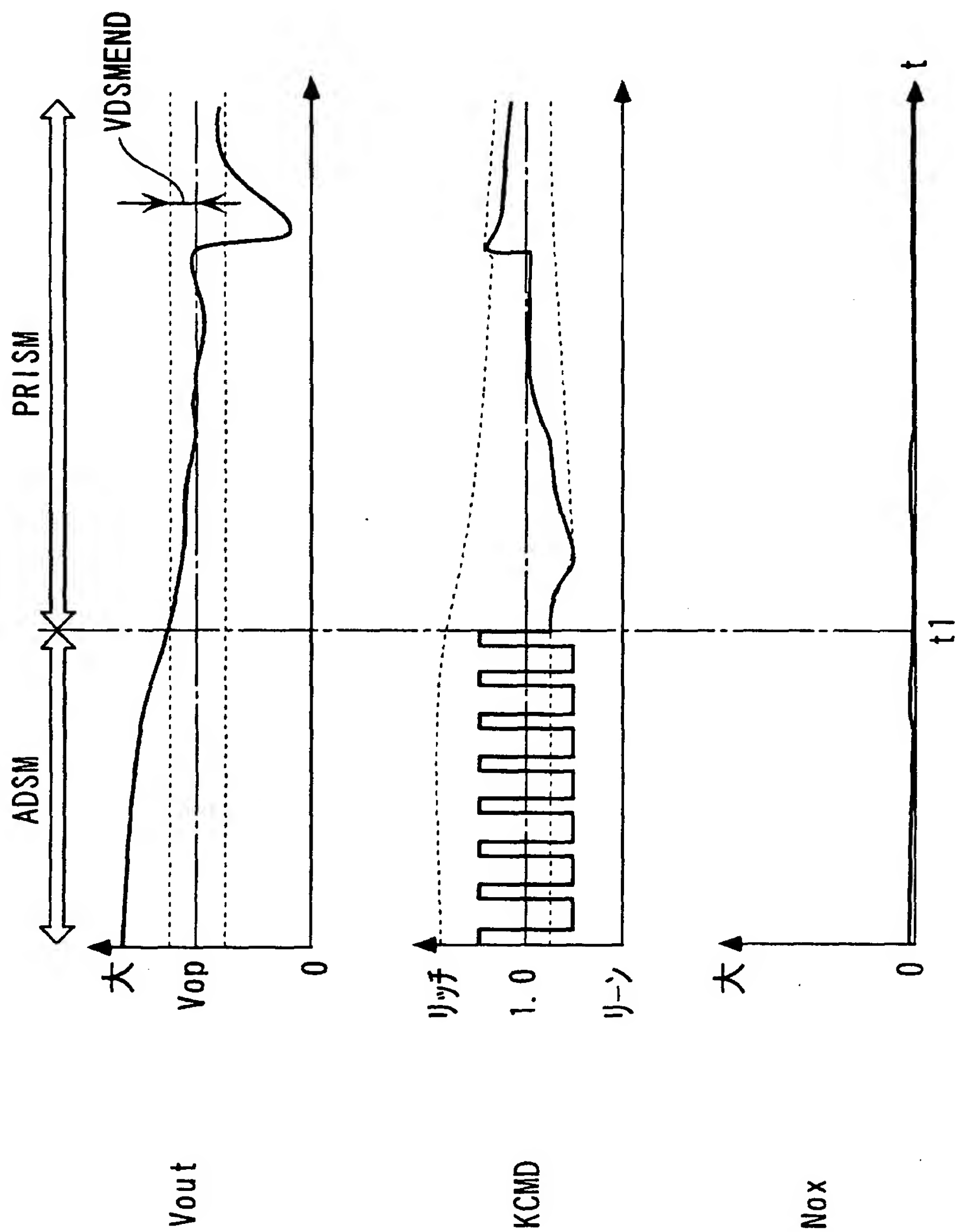
【図 26】



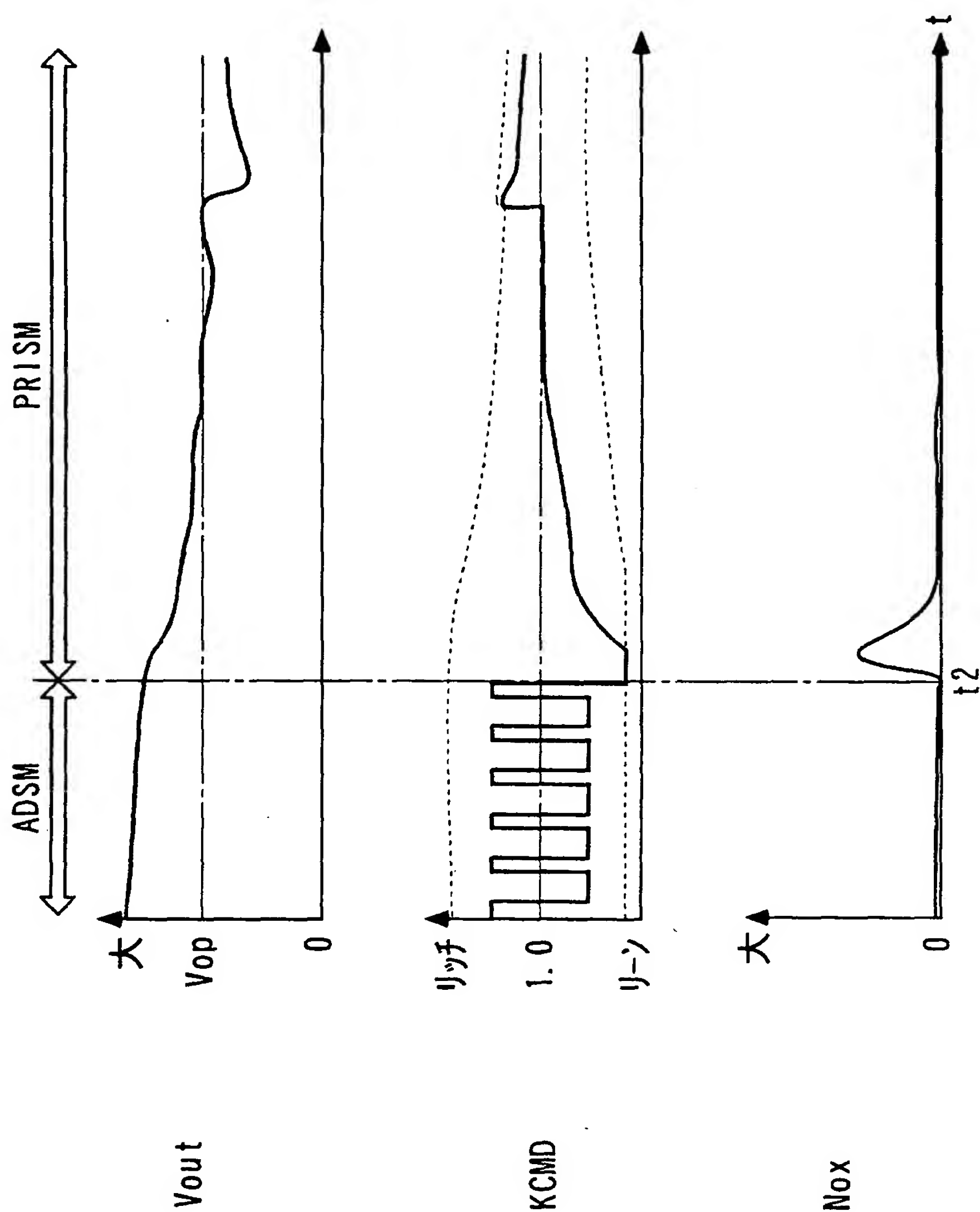
【図 27】



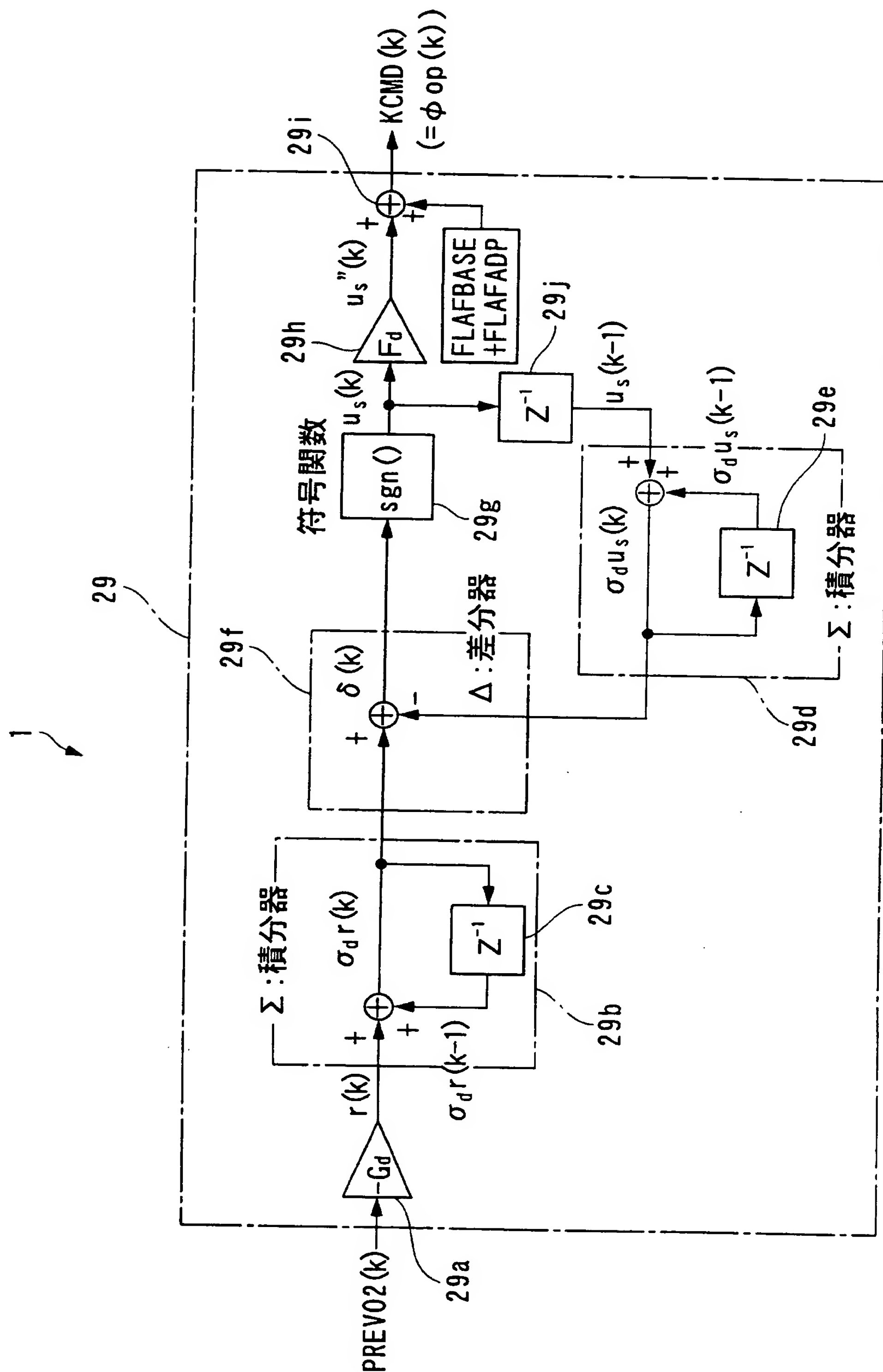
【図 28】



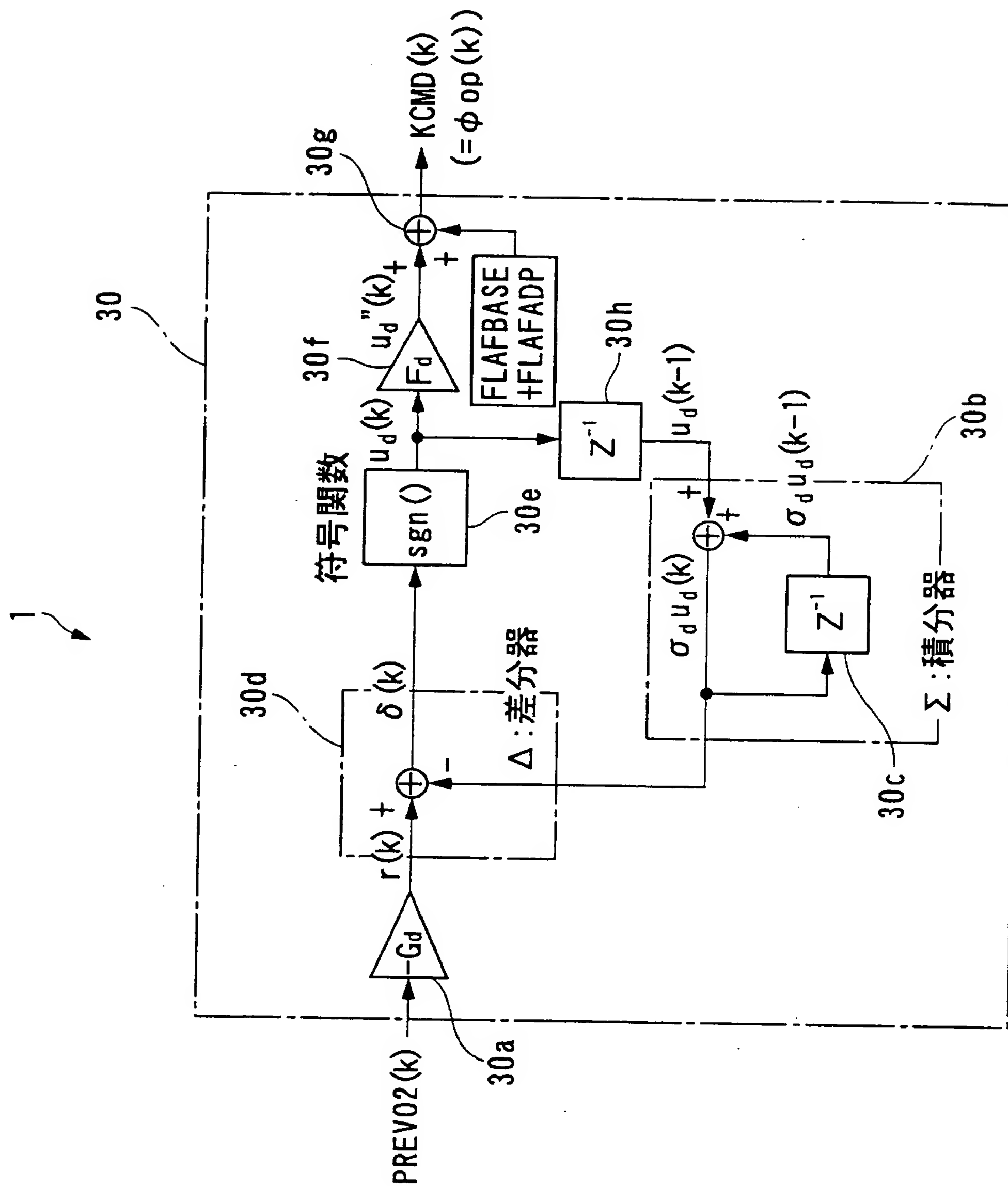
【図 29】



【図 30】



【図 31】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 Δ 変調、 $\Delta\Sigma$ 変調および $\Sigma\Delta$ 変調のいずれか1つのアルゴリズムに基づく制御処理と、応答指定型制御アルゴリズムに基づく制御処理との切り換えの前後間における制御入力の段差を解消でき、切り換えの際の制御対象の出力の急激な変化を回避できる制御装置を提供する。

【解決手段】 制御装置1のECU2は、出力偏差の予測値PREV02を算出し(step22)、 $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムまたはスライディングモード制御アルゴリズムに基づき、予測値PREV02に応じて、目標空燃比KCMDを算出し(step38~40)、内燃機関3の運転状態に応じて、一方のアルゴリズムに基づいて算出された目標空燃比KCMDを選択し(step71,73)、目標空燃比KCMDの選択が $\Delta\Sigma$ 変調アルゴリズムからスライディングモード制御アルゴリズムに変化した場合、 $|\text{PREV02}| \leq \text{VDSMEND}$ のときに目標空燃比KCMDの算出の切り換えを実行する(step76,192)。

【選択図】 図 2 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都港区南青山二丁目1番1号

氏 名 本田技研工業株式会社